

Fachbereich Bauingenieur- und Vermessungswesen

Bestandserfassung eines denkmalgeschützten Gebäudekomplexes unter Verwendung des terrestrischen Laserscanners FARO Photon 120 und der dazugehörigen Software

Diplomarbeit

im Studiengang Vermessungswesen

zum

Erlangen des akademischen Grades

Diplomingenieur

(Dipl.-Ing. (FH))

Vorgelegt von: Anne Kolbe

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. H.-J. Larisch

ÖbVI Dipl.-Ing. (FH) R. Lessner

urn:nbn:de:gbv:519-thesis 2010-0496-2

Neubrandenburg, September 2010

Kurzfassung

Bei der Planung von Bauwerkssanierungen ist es erforderlich, zunächst einmal Informationen über den Bestand einzuholen. Doch gerade bei sehr alten Gebäuden existieren meist keine Unterlagen mehr, deshalb müssen vor der Planung aktuelle Bestandspläne erstellt werden. Das terrestrische Laserscanning bietet dabei eine Alternative zu den konventionellen Messverfahren.

Diese Diplomarbeit befasst sich mit der Erstellung von Bestandsplänen und Fassadenansichten eines denkmalgeschützten Gebäudes aus Laserscandaten.
Während zu Beginn Grundlagen und der Messablauf erörtert werden, beschäftigt sich der Hauptteil mit der Auswertung der Scandaten. Dabei wurde mit den Softwareprogrammen FARO Scene, LupoScan, AutoCad und Kubit PointCloud gearbeitet.

Abstract

Before planning the reconstruction of buildings it is necessary to gather information about the structure of the building. Yet, in particular for very old buildings original documentation of the buildings' structure is often non-existent. Therefore, architects need to draw up latest as-built documentations from the building considered for reconstruction. The terrestrial laser scanning offers an alternative to conventional methods of measurement for as-built documentations.

This thesis deals with an as-built documentation of a heritage building based on laser scan data. The data was collected by using FARO's Photon 120. Laser scanning is a three-dimensional surveying procedure to scan an object. At the beginning of the thesis methodological basics and the test sequence of laser scanning are explained. The main part of the thesis focuses on the data analysis. Finally, the as-built documentation with outline, sections, and front side of the heritage building is provided for future planning of reconstruction. The software FARO Scene, Kubit PointCloud, and LupoScan were used for post-processing data analysis.

Inhalt

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

1 Einleitung

Wir leben heute in einer Informationsgesellschaft, in der die Gewinnung, Speicherung, Verarbeitung, Vermittlung und Nutzung von Daten eine wesentliche Rolle spielt. Diese Entwicklung ist durch den rasanten technischen Fortschritt begründet und wirkt sich in allen Bereichen unseres Lebens aus. Ob es nun unsere Freizeit oder der Beruf ist, die Technik begleitet uns stets und überall.
Im Vermessungswesen spiegelt sich diese Entwicklung durch den Wandel vom typischen Landvermesser zum Sachverständigen für Geodaten wider, wodurch sich das Tätigkeitsfeld stark erweitert hat. Wer daher auch in Zukunft in dem Beruf des Vermessungsingenieurs bestehen will, kommt nicht umhin, sich diesen neuen Techniken zu stellen und sie für sich zu erschließen.

In der Vermessung ist das terrestrische Laserscanning eine der neuen Innovationen der letzten Jahre. Die Herausforderung sich damit zu befassen und dabei die Möglichkeiten dieser Technik kennenzulernen, war der Anreiz sich diesem Thema zu stellen. Ein weiterer Ansporn war für mich, sich mit den unterschiedlichen Möglichkeiten der Auswertungsansätze zu beschäftigen und letztendlich geeignete Arbeitsabläufe herzuleiten, die eine effektive Arbeitsweise ermöglichen.

Grundlage für diese Diplomarbeit war der Auftrag eines Architekturbüros an ein Vermessungsbüro, der die Erstellung von Bestandsplänen zum Inhalt hatte. Dabei handelt es sich um zwei Gebäude, das ehemalige Polizeigebäude (Haus 1) und das Stasi-Gefängnis (Haus 5), die sich auf dem Gelände des Amtsgerichts in Neustrelitz, Landkreis Mecklenburg-Strelitz, befinden. In dieser Diplomarbeit werden anhand des ehemaligen Polizeigebäudes die Vorgehensweise und der Ablauf sowohl der Messung und auch der Auswertung erörtert. Der Schwerpunkt liegt dabei im terrestrischen Laserscanning mit dem Ziel, aus den gewonnenen Laserscandaten Bestandspläne und Fassadenansichten eines denkmalgeschützten Gebäudes zu erstellen.

Im Erdgeschoss von Haus 1 wurde das terrestrische Laserscanning nur zum Teil eingesetzt, da sich die Situation so darstellte, dass ein Zugang der Räume nicht vollständig gewährleistet werden konnte. Dagegen wurde im teilunterkellerten Bereich dieses Hauses nicht mit dem Laserscanner gearbeitet, da es sich um kleine schmale und niedrige Räume handelte, die zudem auch etwas feucht waren. Um die Bestandspläne hierfür zu erstellen, wurden als Verfahren das Handaufmaß und die Tachymetrie gewählt. In dieser Arbeit wird der Messablauf dieser Verfahren nicht näher erörtert.

Um die Scandaten auszuwerten, kommen verschiedene Softwarelösungen zum Einsatz. Vordergründig wurden sie auf ihre Eignung zur Erledigung des Auftrages geprüft. Denn letztendlich sind die Ergebnisse für den Auftraggeber Grundlage seiner Planungen für die Sanierung und den Umbau.

Da sich diese Arbeit auf das ehemalige Polizeigebäude konzentriert, folgt der Vollständigkeit halber an dieser Stelle eine Kurzbeschreibung des ehemaligen Stasi-Gefängnisses.

Die Haftanstalt wurde um die Jahrhundertwende erbaut und ist im Bereich des Erd- und ersten Obergeschosses verklinkert. Der obere Teil des Gebäudes ist verputzt. Die Fensteröffnungen, die in den Zellen aus Glasbausteinen bestehen, sind alle von außen vergittert. Der Zugang erfolgt an der Südostseite über eine Veranda und führt in einen länglichen Flur, der auf den zweiten gerade zuläuft. Die Obergeschosse sind über eine gerade Treppe mit viertelgewendeltem An- und Austritt zu erreichen und das Dachgeschoss über eine Winkeltreppe mit Podest.

Das Ministerium für Staatssicherheit der DDR nutzte die Haftanstalt bis zum Umzug nach Neubrandenburg 1987. Danach wurde es im Erdgeschoss nur als Lager vom Amtsgericht benutzt und ansonsten gar nicht. Nach jetzigem Stand soll das zweite Obergeschoss mit den Zellen und der Ausstattung erhalten bleiben und zu einer Begegnungsstätte umgebaut werden.

2 Vorstellung des Projektes

Die ehemalige Polizeiinspektion in der Tiergartenstraße 5 in Neustrelitz ist Eigentum des Landes Mecklenburg-Vorpommern und befindet sich im Stadtzentrum neben dem Amtsgericht. Nach mehreren Jahren Leerstand soll das denkmalgeschützte Gebäude nun saniert werden. Dabei sieht die Planung zurzeit so aus, dass in das Erdgeschoss das Grundbuchamt einzieht und die Räume im Obergeschoss für die Büros der Richter und Rechtspfleger genutzt werden sollen. Nach jetzigem Stand wird das Dachgeschoss nicht mehr genutzt werden. Grundlage für die Planungen der künftigen Nutzung bilden dabei die Bestandspläne, die im Rahmen dieser Arbeit angefertigt wurden.

2.1 Die geschichtliche Entwicklung von Neustrelitz

Aufgrund politischer Entwicklungen entstand 1701 das (Teil-) Herzogtum Mecklenburg-Strelitz, womit auch eine neue Residenzstadt gesucht wurde. Die Wahl fiel schließlich auf Strelitz und somit erfolgte der Ausbau zur Residenzstadt. In der Nacht vom 24 zum 25 Oktober 1712 wurde das Schloss in Strelitz durch einen Brand zerstört und in der Folge scheiterte ein Wiederaufbau bzw. Neubau. Nachdem die herzogliche Familie zeitweise auf verschiedenen Landsitzen wohnte erfolgte in den Jahren von 1726 bis 1731 darum der Aus- und Umbau des Jagdschlosses am Zierker See zu einem neuen Residenzschloss. Im Zuge dieser Arbeiten entwarf der Baumeister auch den Plan für eine neue Residenzstadt. Um den Aufbau der neuen Residenzstadt zu beschleunigen, wurde am 20.Mai 1733 der Gründungsaufruf zum Aufbau von Neustrelitz zur Residenzstadt erlassen. Im Jahr 1736 wurden dann die Behörden von Strelitz nach Neustrelitz verlegt.

Mit dem Ende des Kaiserreiches und der Monarchien in Deutschland entstand 1918 der Freistaat Mecklenburg-Strelitz mit der Landeshauptstadt Neustrelitz. Durch den Zusammenschluss der beiden Freistaaten Mecklenburg-Strelitz und Mecklenburg-Schwerin verlor Neustrelitz dann seine Funktion als Landeshauptstadt und wurde kreisfreie Stadt.

Am 29. und 30. April 1945 marschierten sowjetische Truppen in Neustrelitz ein und in der Folge fielen in Neustrelitz das Schloss, ein Pavillon, das Theater, das alte Palais, das Kollegiengebäude und einige Häuser am Markt der Brandstiftung zum Opfer.
Nach Ende des zweiten Weltkrieges 1945 bis zur Bezirksgründung in der DDR 1952 war Neustrelitz kreisfreie Stadt im Land Mecklenburg-Vorpommern. Durch die Bezirksbildung entstand der Kreis Neustrelitz mit der gleichnamigen Kreisstadt.
Nach der deutschen Wiedervereinigung 1990 entsteht das Land Mecklenburg-Vorpommern und durch die Reduzierung der Landkreise im Juni 1994 wird der Landkreis Mecklenburg-Strelitz mit der Kreisstadt Neustrelitz gebildet. Dieser umfasst nun wieder den größten Teil des früheren Herzogtums Mecklenburg-Strelitz . [1]

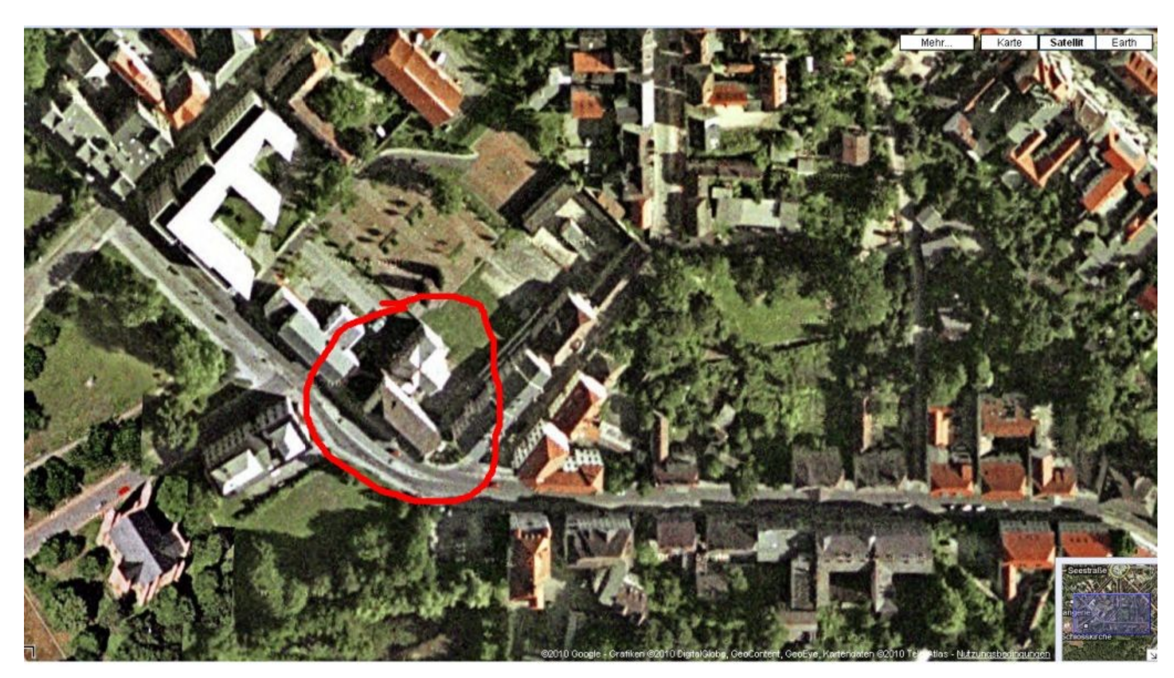


Abb. 2.1: Blick auf die Tiergartenstraße 5 in Neustrelitz [nach 13]

Die Stadt Neustrelitz (Abb. 2.1) liegt innerhalb der Mecklenburgischen Seenplatte und hat bei einer Fläche von 13 815 Hektar derzeitig 21 537 Einwohner. [Stand 31.12.2009][2]

1. http://neustrelitz.de/style-a1/stadtgeschichte-3-4-243-379-383.html []
2. http://service.mvnet.de/statmv/daten_stam_berichte/e-bibointerth01/bevoelkerung--haushalte--familien--flaeche/a-i__/a123__/2009/daten/a123-2009-22.pdf

2.2 Objektbeschreibung ehemalige Polizeiinspektion

Bei dem Objekt handelt es sich um ein eingetragenes Baudenkmal, das sich an der Ecke Tiergarten-/ Töpferstraße in Neustrelitz befindet. Es ist heute im Eigentum des Landes Mecklenburg-Vorpommern und steht bereits einige Jahre leer. Das elfachsige zweigeschossige Traufenhaus wurde Ende des 18. Jahrhunderts nach Entwürfen des Baumeisters Ebel für den Kammerrat Adolf von Bassewitz erbaut, „Bassewitz'sches Palais". Im 19. Jahrhundert war es ein Militärverwaltungsgebäude und wurde später als herzogliche Bibliothek und Altertumssammlung genutzt.



Abb. 2.2: Tiergartenstraße 5 in Neustrelitz, Südwestfassade im Frühjahr 2010

Wie Abbildung 2.2 zeigt, wird die Südwestfassade durch ein übergiebeltes, dreiachsiges Mittelrisalit symmetrisch aufgeteilt, vor dem sich eine breite Freitreppe befindet. Das Mittelportal weist eingestellte Säulen auf und eine mit Rosettenschmuck verzierte Eingangstür. Eine feine Putzquaderung und profilierte Fensterrahmungen sind im Bereich des Erdgeschosses anzufinden. Im Übergang zwischen Erd- und Obergeschoss ist ein profiliertes Gurtgesims zu finden und über den Fenstern sind Überdachungen angebracht. Den Abschluss bildet ein profiliertes Traufgesims mit Klötzchen. Der dreiachsige Mittelvorsprung wird mit einem flachen Dreiecksgiebel abgeschlossen, in dem ein rundes Fenster verbaut ist.

Im Gegensatz zum Nordwestgiebel befindet sich auch am Südostgiebel ein Geschossgesims. Während am Südostgiebel im Erdgeschoss drei Fenster vorhanden sind, gibt es am Nordwestgiebel nur eines. Beide Giebel besitzen im Obergeschoss je ein Fenster und drei Blindfenster und im Dachgeschoss nochmal vier Fenster.
Wie das Foto in Abbildung 2.4 zeigt, ist die Nordostfassade im Vergleich mit der Straßenfassade schlicht gehalten. Dort befindet sich lediglich ein profiliertes Traufgesims und in der Mitte eine schmale freistehende Treppe für den Zugang ins Erdgeschoss.
Der teilunterkellerte Bereich des Gebäudes ist nur über eine Außentreppe an der Ecke zum Südostgiebel zu erreichen. Es befinden sich dort fünf Räume mit einem Tonnengewölbe, welches eine Höhe von 2,15 m hat. Außerdem sind in den Wänden Nischen eingearbeitet.



Abb. 2.3: Blick auf die Nordostfassade des Gebäudes im Frühjahr 2010

Der Hintereingang befindet sich im Bereich der Treppe, die das Gebäude gleichmäßig aufteilt. Zu erreichen sind die Etagen jeweils über eine dreiläufige U-förmige Treppe mit zwei Viertelpodesten. Die Raumhöhen betragen im Erdgeschoss rund 3,65m und im Obergeschoss rund 4,25m. Einige Räume im Obergeschoss sind an den Deckenrändern mit Stuckleisten verziert und in einem Raum befindet sich eine halbrunde Wandnische. Zwei halbrunde Wandnischen sind dazu noch im Erdgeschoss.

Tabelle 2.1: Die Geschichte des Hauses im Wandel der Zeit [nach [3]]

1781	im Stadtgrundriss wird ein großes Traufenhaus mit Walmdach über ein älteres kleines Traufenhaus gezeichnet
1842-1846	Einzug der Großherzoglichen Bibliothek mit der Altertums- und Münzsammlung, später auch das Archiv
1849	Eigentümerin Serenissimus, jetzt Princess Caroline von Mecklenburg
1888 – 1950	wurde die Straße als Paradeplatz bezeichnet
1894/95	großherzogliches Eigentum und es gab eine Mietpartei
1908	Anschluss des Landgerichts und des Bibliotheksgebäudes an die Kanalisation
1920	Auszug der Bibliothek und der Altertums- und Münzsammlung; Nutzung als Mietshaus
1929	Dachreparatur
1945-47	Beschlagnahmung des Hauses
1947	Nutzung als Landesbauamt
1949-50	Dienstgebäude des Landesstraßenbauamtes; Ausbau einer DG-Wohnung
1950-80	Paradeplatz wird Walter-Rathenau-Platz
1952	Grundrisse laut Bauakte
1953	Nutzung durch das Ministerium für Staatssicherheit (MfS)
1980	Eigentümer MfS, danach diente es als Polizeigebäude
2001	Seit dem Umzug der Polizeiinspektion steht dieses Gebäude leer
Heute	das Erdgeschoss wird derzeitig als Theaterfundus genutzt; das Gebäude wurde entkernt; Bausicherung [Bild 2.3]





Abb. 2.4: Links: Theaterfundus im EG; Mitte: Sicherung im OG; Rechts: Blick ins DG

[3] http://www.neustrelitzer-strassenhistorie.de/index.php?menuindex=2; Stadtarchiv Neustrelitz

3 Grundlagen und Stand der Technik

3.1 Verfahren zur Bauaufnahme

Die Bauaufnahme ist eine Bestands- und Zustandsdokumentation eines Bauwerks und ein wichtiges Planungsinstrument vor allem bei Sanierungen und Umbauten.
Gerade bei sehr alten Gebäuden beispielsweise liegen oft keine Pläne vor oder die ursprünglichen Baupläne stimmen aufgrund von Änderungen nicht mehr mit dem Ist-Zustand überein. Sollen nun Planungen für einen Umbau oder eine Sanierung erfolgen bilden die aktuell erstellten Bestandspläne die Grundlage dafür. In Frage für die Bauaufnahme kommen verschiedene Verfahren, die entweder ausschließlich oder in Kombination eingesetzt werden können.

3.1.1 Handaufmaß

Hierbei handelt es sich um ein einfaches und auch altes Verfahren, denn für die Erfassung werden lediglich ein Laserdistanzmessgerät (Disto), ein Gliedermaßstab, ein Lot und eine Wasserwaage benötigt. Zur Dokumentation vor Ort werden Skizzen des Grundrisses auf Papier gezeichnet und mit den ermittelten Maßen versehen. Dabei werden alle geometrischen Größen des Bauwerkes erfasst. Im Gebäudeinneren werden z.B. neben den Längen und Breiten der Räume auch die Fenster- und Türöffnungen erfasst. Hinzu kommen die Informationen zur Raumhöhe und Kontrollmaße.
Für die Erfassung können verschieden Techniken verwendet werden. Üblich dabei ist direkt an den Wänden entlang zu messen und/oder Messketten zu bilden.
Heutzutage werden die erfassten Ergebnisse anschließend in ein CAD[4]-Programm übertragen und digitale Pläne erstellt. Aufgrund der einfachen Hilfsmittel beschränkt sich die Aufnahme auf das Wesentliche und es erfolgt eine Generalisierung des Objektes.

---

[4] CAD: engl. Computer Aided Design = rechnergestützte Entwurf

3.1.2 Tachymetrie

Hierbei handelt es sich um ein polares Aufnahmeverfahren mit einem Tachymeter. Dabei werden von einem Standpunkt aus die horizontalen und vertikalen Richtungen sowie die Distanzen zum Zielobjekt gemessen und in modernen Geräten abgespeichert. Für die Streckenmessung wird dazu entweder ein Reflektor benutzt oder der reflektorlose Messmodus des Tachymeters, der auch in nicht zugänglichen Bereichen misst. Durch die Orientierung zu bekannten Messpunkten werden dann mit den polaren Messwerten 3D Koordinaten in einem übergeordneten Koordinatensystem bestimmt.
Im Innenbereich wird dies erreicht indem zunächst Messpunkte von außen koordinatenmäßig bestimmt werden.
Für die Aufnahme erfolgt die Aufstellung des Tachymeters im Raum und die Eckpunkte sowie Punkte auf den Flächen werden mit dem Reflektor aufgehalten und gemessen. Zu beachten ist bei der Reflektormessung die Exzentrizität vom Reflektor zum Objektpunkt, da dieser nicht genau angehalten werden kann. Für die Erstellung von Plänen werden die Daten dann anschließend in ein CAD-Programm importiert und weiterbearbeitet.
Mittlerweile sind Tachymeter auf dem Markt, wie die IS von Topcon, die über eine Scanfunktion verfügen und in denen eine Kamera integriert ist. So kann beispielsweise mit der IS der Innenbereich oder bestimmte Ausschnitte mit einer Messrate von maximal 20 Punkten pro Sekunde erfasst werden. Durch die integrierte Kamera wird der Scanbereich abgelichtet.
Abhängig vom Auftrag und der zur Verfügung stehenden Tachymeter ist zu entscheiden, welches Gerät benutzt wird und wie genau und detailreich die Messung erfolgen soll.

3.1.3 Photogrammetrie

Die Photogrammetrie wird in der Bauaufnahme vor allem für die Fassadenaufnahme verwendet. Es handelt sich hierbei um ein indirektes Messverfahren, mit dem aus Fotos die Objektform und die Lage rekonstruiert werden.
Je nach Aufgabe kommen dabei verschiedene Auswerteverfahren zur Anwendung. So wird für die Vermessung von ebenen Objekten die Einbildphotogrammetrie (Entzer-

rung) eingesetzt und für die Erfassung von räumlichen Objektinformationen die Stereophotogrammetrie. Für die Entzerrung sollte der Kamerastandpunkt möglichst senkrecht zum Aufnahmeobjekt gewählt werden und es muss mindestens eine Strecke am Objekt bestimmt werden. Als Ergebnis werden Bildpläne oder Punktkoordinaten erhalten.
Für die Bestimmung von räumlichen Objektinformationen ist die Aufnahme von mindestens Standpunkten notwendig. Mit bekannter innerer und äußerer Orientierung können dann aus den Bildern einzelne Punkte bestimmt werden und daraus die geometrischen Größen berechnet werden. Zur inneren Orientierung gehören dabei die Kameraparameter wie Kamerakonstante, Bildhauptpunkt und Bildverzeichnungen, die durch eine Kalibrierung der Kamera erhalten werden. Die äußere Orientierung wird durch die Bestimmung von Passpunkten in den Bildern realisiert.

3.1.4 Terrestrisches Laserscanning

Beim terrestrischen Laserscanning handelt es sich um ein automatisches berührungsloses Vermessungsverfahren mit dem räumliche Objektinformationen gewonnen werden. Dabei wird mittels Laserstrahl vom Scannerstandpunkt aus die sichtbare Oberfläche des Objektes flächenhaft abgetastet. Durch die Erfassung von horizontalen und vertikalen Richtungen sowie der Distanz werden die räumlichen Koordinaten der Punkte berechnet. Das Ergebnis des Scans ist eine Punktwolke mit Millionen von Punkten, die den Objektraum 1:1 wiedergeben. Während die Daten mit einem sehr hohen Informationsgehalt in kürzester Zeit erfasst werden, ist die Auswertung sehr zeitintensiv, bietet aber die verschiedensten Auswertemöglichkeiten. Ähnlich wie bei der Photogrammetrie erhält man eine Bestandsdokumentation vom Objekt, denn damit können auch zu einem späteren Zeitpunkt Informationen aus den Scandaten gewonnen werden, die zunächst noch nicht Gegenstand der Auswertung waren.

Eine ausführlichere Betrachtung des Laserscanners, des Messablaufes und vor allem der Auswertung der Scandaten erfolgt in den folgenden Kapiteln dieser Arbeit.

3.2 Laser

Laser ist ein englisches Akronym für ***L**aser **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation*, was übersetzt „Lichtverstärkung durch stimulierte Strahlung“ bedeutet.
Im Jahr 1960 wurde der Laser von T. Maiman gebaut. Seither hat die Lasertechnik in vielen Bereichen Einzug gehalten und sich etabliert. Es gibt heute unzählige Anwendungsgebiete, wie beispielsweise die Medizin, Industrie, Informationstechnik Mess- und Prüftechnik und Unterhaltungstechnik, wo der Laser kaum noch wegzudenken ist.
Da es sich beim FARO Laser Scanner Photon 120 um ein Lasermesssystem handelt, sollen an dieser Stelle zunächst einmal wichtige Grundlagen aufgezeigt werden.

3.2.1 Physikalische Grundlagen

Elektromagnetische Welle

Nach der Wellentheorie besteht Licht aus elektrischen und magnetischen Feldern, welche sich wellenförmig ausbreiten. Das Licht wird im Sinne der Wellenoptik als eine Transversalwelle verstanden also Wellen, die vertikal zur Ausbreitungsrichtung schwingen.
Farbe, Interferenz, und Polarisation gehören zu den Eigenschaften, die durch die Wellenoptik erklärt werden. Die Polarisation beschreibt bei der Transversalwelle die Richtung der Schwingung und Interferenz bedeutet, dass sich zwei oder mehr Wellen überlagern und sich die resultierende Welle aus der Summe der Einzelnen zusammensetzt.
Mit Kohärenz wird die Welleneigenschaft bezeichnet, bei der Wellen über einen größeren räumlichen und/oder zeitlichen Bereich hinweg eine definierte Phasenbeziehung aufweisen.
Einige Eigenschaften der elektromagnetischen Wellen lassen sich nicht mit dem Wellenmodell beschreiben dafür aber mit den Teilcheneigenschaften. Es wird vom Welle-Teilchen-Dualismus gesprochen. Die Bezeichnung für Teilchen der elektromagnetischen Strahlung vom Licht lautet Photonen. Ein Beispiel dafür ist die Erzeugung von Laserlicht, für dessen Erklärung auf die Teilcheneigenschaften zurückgegriffen wird.

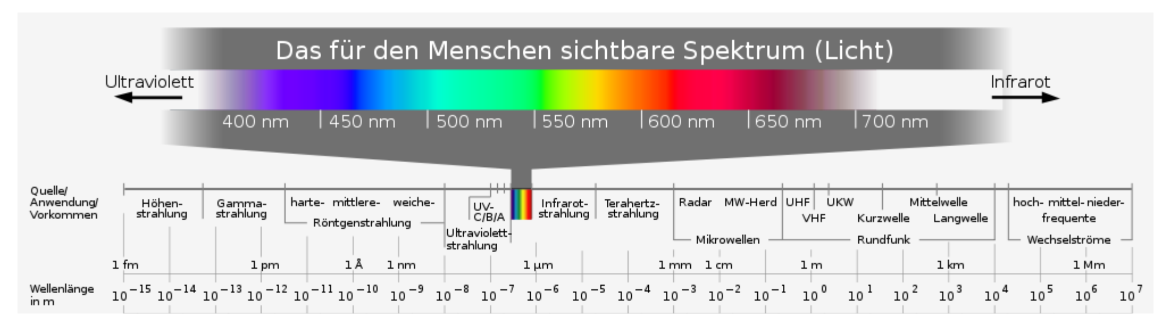


Abb. 3.1: Elektromagnetisches Spektrum [12]

Elektromagnetisches Spektrum

Das elektromagnetische Spektrum oder auch Spektrum des Lichts (Abb. 3.1) bezeichnet die Gesamtheit aller elektromagnetischen Wellen. Dem Bereich des sichtbaren Lichts, mit Wellenlänge von etwa 380 nm bis 780 nm, schließt sich in Richtung der langwelligen Strahlung der Infrarotbereich mit Wellenlängen von 780 nm bis 1 mm an. Die Infrarotstrahlung (IR-Strahlung) wird auch als Wärmestrahlung bezeichnet und ist nochmal unterteilt in die Bereiche nahes, mittleres und fernes Infrarot. Einsatz findet sie unter anderem in Lasern und den bekannten Rotlichtlampen. Während die Infrarotstrahlung mit relativ niedriger Intensität als angenehm empfunden wird und ungefährlich ist, kann die IR-Strahlung mit hoher Intensität Augenschäden und Verbrennungen verursachen.

Reflexion und Brechung

Wenn Licht auf die Grenzfläche zwischen zwei verschiedenen Medien trifft, wird ein Teil des Lichts zurückgeworfen also reflektiert. Dabei sind der Einfalls- und der Ausfallswinkel gleich groß. Der nichtflektierte Anteil des Lichts tritt in das andere Medium über und wird dabei abgelenkt, womit die Ausbreitungsrichtung verändert wird. Das Durchlassen der Strahlung wird als Transmission bezeichnet.

Trifft die Strahlung auf raue (unebene) Oberflächen so kommt es zu einer diffusen Reflexion, bei der die einfallende Strahlung unabhängig vom Einfallswinkel senkrecht zur Oberfläche reflektiert wird (Abb. 3.2). Ein Spezialfall der Reflexion ist die Totalreflexion, bei der die gesamte Strahlung reflektiert wird. Dies ist an Spiegeln und polierten Oberflächen zu beobachten.

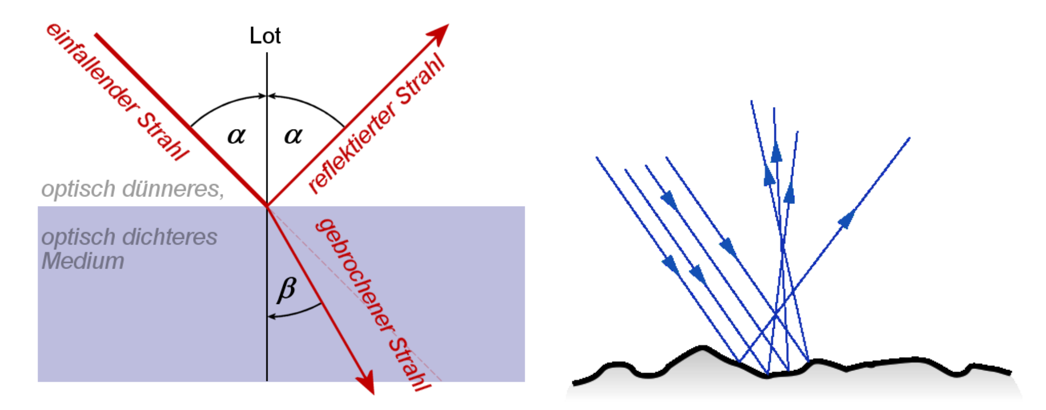


Abb. 3.2: Links: Reflexion und Brechung[5]; Rechts: diffuse Reflexion[6]

Stimulierte Emission

Wenn Strahlung auf Materie trifft, kann diese absorbiert werden, vorausgesetzt die Atome können bei der Frequenz der Strahlung noch Energie aufnehmen. Die stimulierte Emission ist ein Vorgang der ähnlich ist. Dabei wird ein Photon auf ein Atom mit einem Elektron geschossen, das sich bereits auf einem erhöhten Energieniveau befindet. Durch das Photon wird es angeregt wieder auf das niedrigere Energieniveau zurückzukehren. Aus der freiwerdenden Energie entsteht Strahlung in Form eines zweiten Photons. Die einfallende und die erzeugte Strahlung sind kohärent, da beide die gleiche Frequenz, Phase und Richtung besitzen. Die Verstärkung der Strahlung ist bei der stimulierten Emission also kohärent.

Geschieht dieser Vorgang des Wechsels zwischen den Energieniveaus ohne fremde Einwirkung handelt es sich um eine spontane Emission.

3.2.2 Das Laserprinzip

Die grundsätzlichen Komponenten eines Lasers sind eine Pumpeinrichtung, ein optischer Resonator und ein verstärkendes Medium (Abb. 3.3).

Beim optischen Resonator handelt es sich um eine Anordnung von zwei Spiegeln. Während einer der Spiegel eine Reflektivität von nahezu 100% besitzt, ist der zweite Spiegel zu einem bestimmten Teil durchlässig. Es ist ein sogenannter Auskopplungsspiegel. Die Anordnung des Lasermediums zwischen den Spiegeln bewirkt, dass das Licht das ver-

5. http://www.wikiweise.de Reflexion (Physik)
6. http://de.wikipedia.org/wiki/Reflexion (Physik)

stärkende Lasermedium wiederholt durchläuft. Es kommt deshalb zu einer ständigen stimulierten Emission. Die Pumpeinrichtung sorgt im Laser für die Energiezuführung, also dafür, dass die stimulierte Emission in Gang gebracht wird.

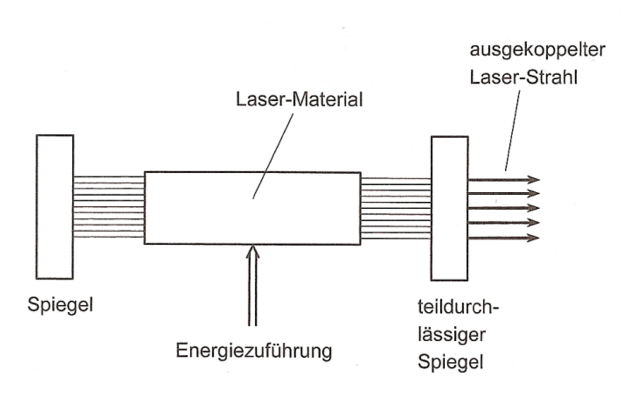


Abb. 3.3: Prinzipielle Anordnung eines Lasers [7]

Die Eigenschaften, der vom Auskopplungsspiegel transmittierten Laserstrahlung, sind stark vom Lasermedium und der Spiegelanordnung abhängig.
Dabei werden die Lasertypen traditionell nach dem Aggregatzustand des Mediums unterschieden, also fest, flüssig und gasförmig.

3.3 Elektronische Distanzmessverfahren

Die auf dem Markt befindlichen Laserscannersysteme nutzen zur Distanzmessung verschiedene Verfahren. Nach dem verwendeten elektronischen Distanzmessverfahren wird auch von Impulsscannern und Phasenscannern gesprochen, weshalb diese beiden Verfahren jetzt erläutert werden.

3.3.1 Impulsmessverfahren

Die Messung der Laufzeit eines Laserimpulses ist die Basis für das Impulsmessverfahren. Dabei wird die Zeit bestimmt, die der Impuls benötigt, um vom Sender zum Reflektor und wieder zurück zu gelangen.

Damit wird die Distanz wie folgt ermittelt []:

$$D = \frac{c_0 * t}{2n} \qquad 3.1$$

mit D = Distanz

c_0 = Lichtgeschwindigkeit im Vakuum

t = Laufzeit

n = Brechzahl der Atmosphäre

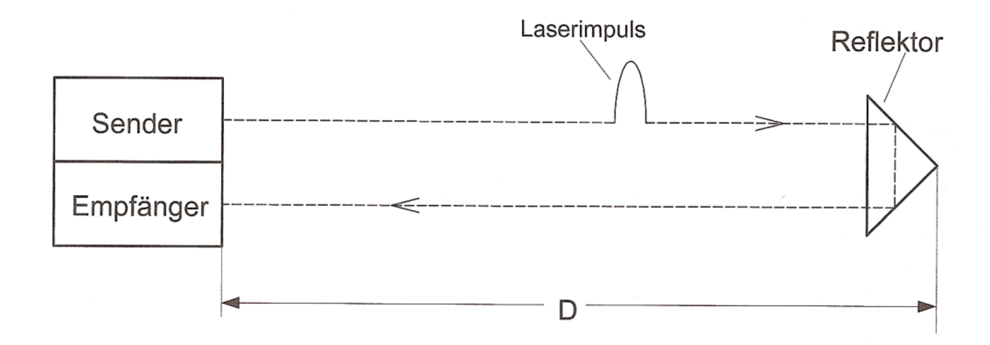


Abb. 3.4: Prinzip Impulsmessverfahren [7]

Der Brechungsindex berücksichtigt folglich die Einflüsse, die der Luftdruck und die Temperatur auf die Lichtgeschwindigkeit ausüben. Die Signalgeschwindigkeit c ist somit:

$$c = \frac{c_0}{n} \qquad 3.2$$

Wie überall gibt es auch bei diesem Verfahren Stärken und Schwächen, die eine Rolle bei der Auswahl des Einsatzbereiches spielen. So gehören zu den Vorteilen

- die eindeutigen Streckenmessungsergebnisse mit hoher Auflösung in kurzer Zeit,
- die großen Reichweiten (bis zu 1000 m) und
- die Streckenmessung ohne besonderen Reflektor durch den energiereichen Impuls.

Nachteil des Verfahrens ist der hohe technische Aufwand der nötig ist, um die Impulsdeformationen zu erfassen, die durch die Atmosphäre verursacht werden.

3.3.2 Phasenvergleichsverfahren

Bei diesem Verfahren strahlt der Sender kontinuierlich eine Trägerwelle aus, der ein periodisches Messsignal aufmoduliert wird, welches wiederum als Maßeinheit für die Streckenmessung dient. Dabei legt eine fest vorgegebene Modulationsfrequenz f die Wellenlänge λ folgendermaßen fest:

$$\lambda = \frac{c}{f} \tag{3.3}$$

Die vom Sender abgestrahlte Messwelle läuft zum Zielreflektor und wird von dort zum Empfänger zurückreflektiert. Gegenüber der ausgesandten Welle trifft die über die doppelte Messstrecke gelaufene Welle dort allerdings mit einer Phasenverschiebung ein (Abb. 3.5). Die Bestimmung der durchlaufenden Strecke 2D setzt sich aus dem Vielfachen N der Modulationswellenlänge λ und dem Wellenreststück $\Delta\lambda$, das der Phasenverschiebung entspricht, zusammen.

$$2D = N * \lambda + \Delta\lambda \tag{3.4}$$

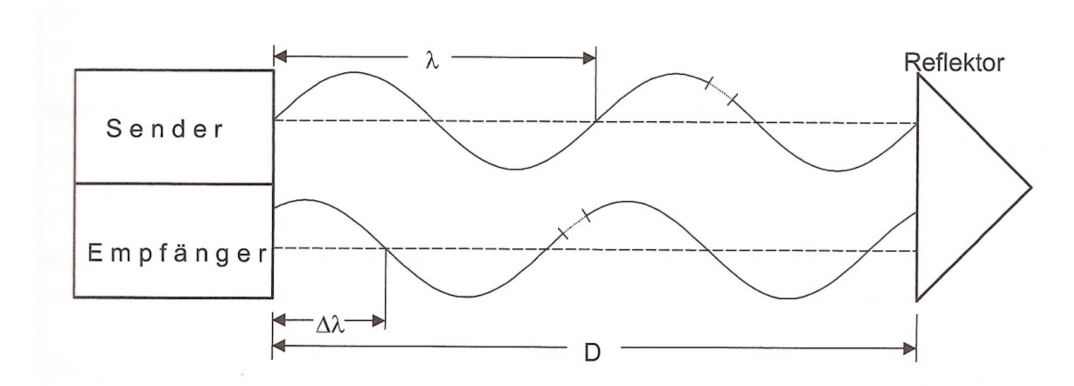


Abb. 3.5: Messprinzip Phasenvergleichsverfahren [7]

Um ein eindeutiges Ergebnis für die Strecke zu erhalten, müssen das Wellenreststück $\Delta\lambda$ und die Anzahl N der ganzen Wellenlängen bzw. Phasenverschiebungen ermittelt werden. Dies geschieht durch eine Fein- und eine Grobmessung. Durch die Feinmes-

sung mit einer kleinen Maßstabswellenlänge mit hoher Auflösung wird das Wellenreststück bestimmt. Die Grobmessung, mit einer großen Maßstabswellenlänge, größer als die doppelte Maximalstrecke, dient dabei zur Bestimmung der Anzahl N der ganzen Wellenlängen.

Vorteile des Verfahrens sind, dass

- es sich um ein ausgereiftes Verfahren handelt und
- es unempfindlich gegenüber kurzzeitigen Messstrahlunterbrechungen ist.

Nachteile sind, dass

- Fehler auftreten, die so bei den anderen Verfahren nicht vorhanden sind und
- mit einer einzigen Maßstabswellenlänge eine eindeutige Streckenmessung mit hoher Genauigkeit nicht möglich ist.

3.4 Laserscanning

Allgemein ausgedrückt bedeutet Laserscanning das zeilen- oder rasterförmige Abtasten von Oberflächen mittels Laserstrahl. Das Vermessungswesen unterscheidet hier zunächst zwei Systemklassen. Zum einen handelt es sich um die Airbone-Laserscanner-Systeme, die durch Überfliegen den Messbereich abtasten, und zum anderen um die terrestrischen Laserscanner, die auf dem Boden eingesetzt werden.

Das terrestrische Laserscanning (TLS) ist ein noch recht junger Bereich der Ingenieurgeodäsie, der gerade im letzten Jahrzehnt immer mehr an Bedeutung gewonnen hat. Diese Entwicklung ist eng mit den rasanten Fortschritten in der Computertechnik verbunden, da gerade die Archivierung und Auswertung der Daten leistungsfähige Rechnertechnik voraussetzt.

Auf keinem Fall aber kann und soll das terrestrische Laserscanning die klassischen Verfahren ersetzen. Es soll vielmehr eine Alternative bieten, um neue Anwendungsgebiete zu erschließen und Herkömmliche sinnvoll zu ergänzen.

Aufgrund des geringen Zeitaufwandes bei der Aufnahme, der guten Genauigkeit und der hohen Informationsdichte ergibt sich ein breites Spektrum für den Einsatz.

- Architektur, Bau- und Denkmalpflege
- Digitaler Fabrik- und Anlagenbau
- Bergbau und Tunnelbau
- Energie und Versorgungsunternehmen
- Flugzeug- und Schiffbau
- Gießereien und Stahlindustrie
- Chemie und Prozessindustrie

3.5 Klassifizierung terrestrischer Laserscanner

Die verschiedenen auf dem Markt befindlichen terrestrischen Laserscanner können bestimmten Kategorien zugeordnet werden. Diese Zuordnung wiederum erlaubt es eine anwendungsbezogene Beurteilung zu treffen und für die jeweilige Aufgabe das entsprechende Gerät und Messverfahren zu wählen.

Die Scannersysteme können nach folgenden Kategorien klassifiziert werden:

- Reichweite
- Angularer Messbereich
- Distanzmesstechnologie (Impuls, Phase wie zuvor beschrieben)

3.5.1 Die Einteilung nach der Reichweite

Nach Ingensand erfolgt die Klassifizierung aufgrund der Reichweite, wobei es im Wesentlichen drei Bereiche gibt, die durch ihr Anwendungsgebiet beeinflusst werden und deren Übergänge fließend sind.
Beim Einsatz der Scannersysteme bis zu 4 m ist die Rede vom Nahbereich, der vor allem in der Medizin und der Industrie vorzufinden ist. Es schließt sich der Mittelbereich an mit Entfernungen bis zu 50 m, der vorrangig für Industrie- und Ingenieurvermessungen und Bauvermessungen verwendet wird. Bei Vermessungen im Zusammenhang mit Naturgefahren arbeitet man mit großen Reichweiten, also 50 m bis 500 m. Aufgrund der

Weiterentwicklung in den letzten Jahren schaffen Geräte dieser Klasse mittlerweile Reichweiten bis zu 1000 m.

3.5.2 Der Aufnahmewinkel als Kriterium

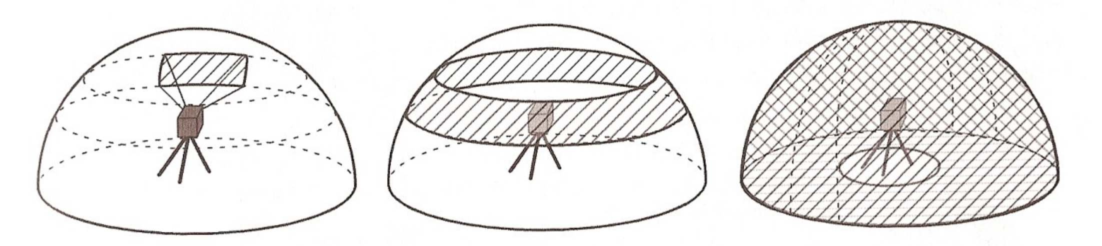


Abb. 3.6: Aufnahmewinkel von Kamera-, Hybrid- und Panoramascanner (v.l.n.r.) [7]

Staiger nimmt eine Einteilung unter Beachtung des angularen Messbereichs vor, die ihn zwischen Kamera-, Hybrid- und Panoramascanner unterscheiden lassen (Abb. 3.6).
Kamerascanner besitzen ein eingeschränktes Gesichtsfeld und erfassen, ähnlich wie auf einem Foto, einen Objektausschnitt. Die Hybridscanner sind Rundumscanner, dessen Höhenmessbereich einschränkt ist und die Rundumscanner, die nur durch ihre Instrumentenbasis eingeschränkt sind nennt Staiger Panoramascanner.
Nachfolgend soll der Panoramascanner näher betrachtet werden, da der FARO Laser Scanner Photon 120 dieser Kategorie zugeordnet wird.

Panoramascanner

Panoramascanner bestehen aus einem um die z-Stehachse drehbares Oberteil und einer mitgedrehten Kippachse für die Vertikalablenkung α_{xy}. Vertikal messen sie auch über den Zenit, so dass nur im Bereich des Statives ein kegelförmiger Messschatten entsteht, dessen Größe von der Instrumentenhöhe und dem Öffnungswinkel abhängig ist.
Das vorherrschende Prinzip der Hersteller für die vertikale Strahlablenkung ist ein Zylinderstumpf, der um die Kippachse rotiert. Die Zylinderstumpffläche ist dabei ein mitrotierender Planspiegel, welcher um 45° gegen die Zylinderachse geneigt ist (Abb. 3.7). Im Planspiegel befindet sich somit auch der Schnittpunkt von Steh- und Kippachse, der den Ursprung des lokalen Koordinatensystems des Gerätes definiert.

Da es sich um Rundumscanner handelt, liegt der horizontale Winkelmessbereich typischerweise bei 360°. Für den vertikalen Messbereich sind entweder Angaben von 140°,

150° oder von 310°, 320° usw. zu finden. Die Angaben spiegeln dabei die Funktionsweise wieder. So bedeutet ein vertikaler Messbereich von 140°, dass die Strahlablenkung nicht über den Zenit hinaus erfolgt, ähnlich der Lage I beim Tachymeter, und dadurch der gesamte Vollwinkel um die z-Achse abgetastet werden muss.

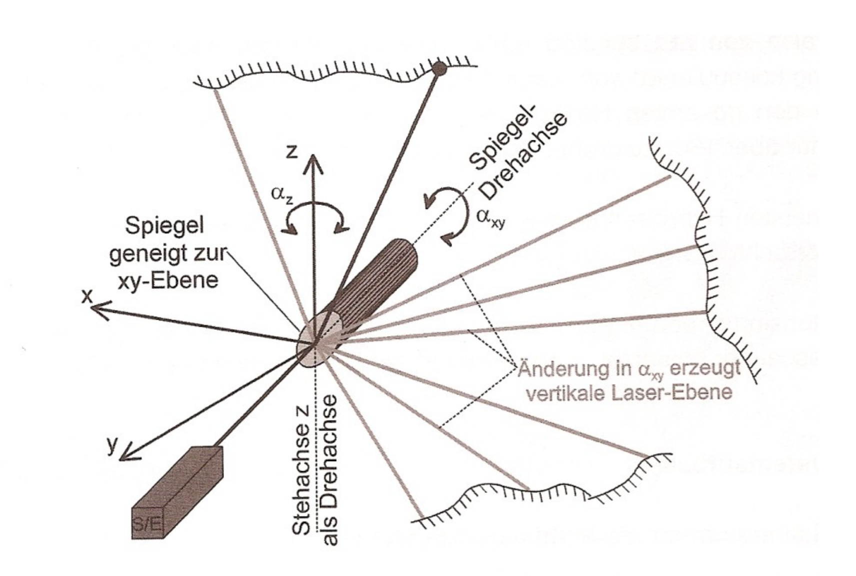


Abb. 3.7: Zylinderstumpf-Spiegel im Panoramascanner [7]

Demgegenüber weist eine Angabe von 320° darauf hin, dass die Vertikalauslenkung auch über den Zenit hinaus funktioniert. Für die gesamte Erfassung des Horizonts genügt somit eine Drehung des Scanners um 180°.

3.6 Einflüsse beim berührungslosen Scannen

Unabhängig vom Distanzmessverfahren treten beim berührungslosen Scannen Effekte auf, welche die Ergebnisse der Entfernungsmessung mehr oder weniger stark beeinflussen. Zu diesen zählen die Oberflächenbeschaffenheit, die Materialstruktur und die Geometrie vom Scanner zum Messobjekt.

3.6.1 Oberflächenbeschaffenheit

Im Hinblick auf die Reichweite und die abgespeicherten Intensitäten spielt die Oberflächenbeschaffenheit eine wesentliche Rolle. Die Rauigkeit bestimmt die Reflektivität, also die Signalstärke mit dem der Laserstrahl von der Oberfläche reflektiert wird. Von spiegelnden oder glatt polierten Oberflächen werden beispielsweise keine Signale zum

Scanner zurückgesandt, so dass dort keine Messwerte vorhanden sind und ein „Loch“ entsteht.

Auch die spektrale Reflektanz, die Abhängigkeit der Objektfarbe zur Reflektivität, kann die Messung beeinflussen. Ein Beispiel dafür ist, dass schwarze Flächen das Laserlicht vollständig absorbieren oder nur einen sehr geringen Teil wieder abstrahlen und dass helle Flächen meist gute Reflektivitätswerte aufweisen.

3.6.2 Materialstruktur

Bei semitransparenten Materialien sind die Erscheinungen der Absorption, Reflexion und Refraktion zu bedenken (Abb. 3.8), wenn der Laserstrahl auf solche Objekte trifft. Je nachdem wie weit die Strahlung in das Medium eindringt, wird ein Teil des Signals absorbiert. Außerdem werden zu lange Strecken von mehreren mm bis cm ermittelt, da der Laserstrahl erst an Partikeln im Material reflektiert wird. Zudem wird der Strahl beim Übergang in das Medium gebrochen, so dass ein Querversatz entsteht.

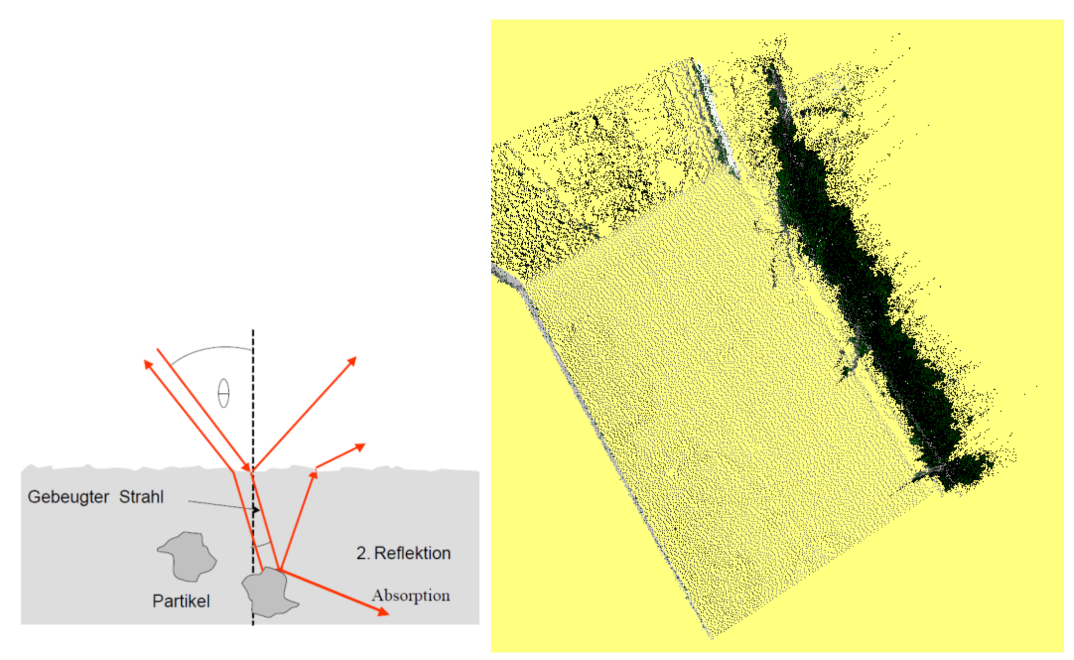


Abb. 3.8: Links: Ingensand Eindringen des Lasers in semitransparentes Material[7];
Rechts: Eindringen des Strahls in Glasbausteine

7. http://www.intergeo.de/archiv/2004/Ingensand.pdf

3.6.3 Der Auftreffwinkel und die Zielgeometrie

Die Geometrie zwischen dem Scannerstandpunkt und dem Zielobjekt sowie anderen Objekten ist wichtig, da sie sich auf die Genauigkeit, Auflösung und Reichweite auswirkt. So ändert sich mit zunehmender Entfernung zum Messobjekt die Spotgröße des Laserstrahls und es wird nur noch ein geringer Teil reflektiert. Vor allem beim Ausnutzen der maximalen Reichweite ist daher zu berücksichtigen, dass die Reflektivität quadratisch mit der Entfernung abnimmt, was sich gerade bei langgestreckten Objekten zeigt. Ebenso verhält es sich mit der Objektauflösung an den Rändern langgestreckter Objekte, denn wenn der Auftreffwinkel kleiner wird vergrößert sich der Abstand zwischen Punkten.

Aufgrund einer schlechten Zielgeometrie kann es außerdem zu Verlusten bei der Genauigkeit in der Streckenmessung kommen, die sich vor allem an Außen- und Innenecken zeigen. So werden die Innenecken zu kurz und die Außenecken zu lang gemessen. Zu systematischen Verfälschungen in der Streckenmessung kommt es, wenn der Laserstrahl das Zielobjekt unter stark schleifenden Schnitten trifft. Der steigende Einfallswinkel wirkt sich darüber hinaus auch auf die Intensität aus, was zur Folge hat, dass die Reichweite reduziert wird.

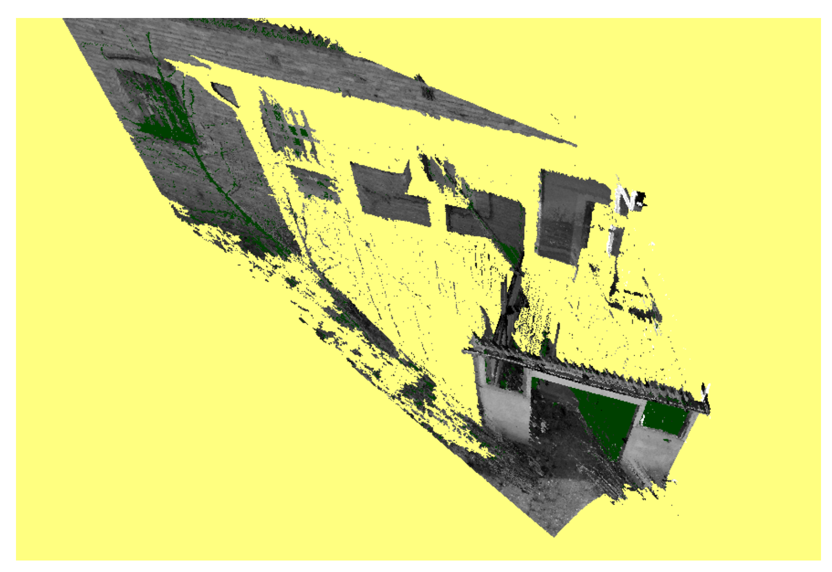


Abb. 3.9: Kometenschweif von der linken Ecke des Anbaus zur Fassade hin

Ein weiteres Phänomen ist der sogenannte „Kometenschweif“, der entsteht wenn zwei Objekte räumlich hintereinander liegen und das erste Objekt unter Streiflicht erfasst wird. (Abb. 3.9)

4 Hard- und Software

4.1 FARO

FARO ist ein amerikanisches Unternehmen, das zu einem der führenden Anbieter im Bereich der computergestützten Messtechnik (Computer Aided Measurement kurz CAM) gehört.

4.1.1 Firmengeschichte

„Über 10 000 Kunden mit mehr als 20 000 Installationen vertrauen heute weltweit den Messsystemen von FARO. Sie sind in den Produktions- und Qualitätssicherungsprozessen führender Firmen wie ABB, Airbus, Audi, Boeing, BMW, British Aerospace, Johnson Controls, Daimler, Ford, Goodyear Dunlop, Hewlett Packard, Honda, MAN, Miele, Porsche, Siemens, SKF und Volkswagen zu finden."[8]

Das Unternehmen FARO wurde am 21. Februar 1981 von Simon Raab und Greg Fraser zunächst unter dem Namen Res-Tech gegründet, ehe der Name zwei Jahre später in FARO geändert wurde. Die Firmengründer kommen aus dem Bereich der Biomedizintechnik und begannen mit der Entwicklung von Technologien, inklusive der Software, für komplexe Operations- und Diagnoseverfahren. Im Jahr 1984 stellte FARO dann sein erstes Gerät mit Gelenkarm-Messtechnologie vor.

Nachdem der Firmensitz 1990 von Montreal nach Florida verlegt wurde, erkannten die Firmengründer im folgenden Jahr Parallelen zwischen der 3D-Diagnose in der Medizin und den Abläufen der CAD-gestützten Bauteilekonstruktion in der Fertigungsindustrie. Daraufhin begann FARO die Neuausrichtung auf die 3D-Messungen in der Fertigung, die 1994 den Abschluss fand. Schließlich expandierte das Unternehmen 1996 auf den europäischen Markt durch eine stetige Weiterentwicklung.

Die Übernahme der Softwarefirma CATS 1998 bedeutete, dass FARO sich auf die Entwicklung des Messarms konzentrierte, während CATS den Bereich der Softwareentwicklung verstärkte. Mit der Eröffnung einer Zweigstelle in Japan begann im Jahr 2000

8.Faro Firmenprofil, http://www.faro.com/contentv2.aspx?ct=ge&content=misc&item=337

die Expansion auf dem asiatischen Markt und zwei Jahre später wurden mit dem Platinum FaroArm® und dem FARO Gage, dem Lasertracker, neue Produkte in den Markt eingeführt. Somit hatte FARO nun nach 20 Jahren nicht nur den weltweit meistverkauften tragbaren Messarm, sondern auch den weltweit meistverkauften Lasertracker.
Durch den Kauf der deutschen iQvolution AG (-> FARO Scanning GmbH) und der iQsun GmbH (-> FARO Scanner Production GmbH) erschlossen sich für FARO im Jahr 2005 neue Kundenbereiche in den Branchen Bergbau, Geologie, Archäologie, Denkmalschutz, Architektur, Petrochemie und Gerichtsmedizin.
Der Laserscanner FARO® Laser Scanner Photon 80 wurde 2008 und der Nachfolger FARO® Photon 20/120 im Frühjahr 2009 auf dem Markt eingeführt.

4.2 FARO Laser Scanner Photon 120

„Der FARO Laser Scanner Photon ist ein präzises Messinstrument das photorealistische dreidimensionale Abbildungen der Realität erzeugt.“[2][9] (Abb. 4.1)



Abb. 4.1: FARO Laser Scanner Photon 120 [2]

Um die Möglichkeiten des Gerätes einschätzen zu können, sollen zunächst einmal die Eigenschaften betrachtet werden. Diese sind unter anderem bestimmend für das Einsatzgebiet des Messsystems.
Der FARO Laser Scanner Photon 120 gehört in die Klasse der Panoramascanner. Er verwendet das Phasenvergleichsverfahren zur Distanzmessung und die wesentlichen Komponenten des Gerätes sind das Lasersystem und die Computereinheit. Optional kann der Scanner dazu mit einer Digitalkamera erweitert werden, für die sogenannte Farboption, wie in der Abbildung 4.2 zu sehen ist.

9. FARO Laser Scanner Photon 20 & 120 Manual DE ist auf dem Datenträger im Anhang



Abb. 4.2: FARO Laser Scanner Photon 120 mit Kamera [2]

Tabelle 4.1: Technische Daten FARO Laser Scanner Photon 120 [nach 2]

Entfernungseinheit	
Reichweite Photon 120[10]	0.6 m – 153 m im Innen- oder Außenbereich mit geringem Umgebungslicht auf Oberflächen mit 90% Reflektivität. 0.6 m – 120 m im bewölkten Außenbereich auf Oberflächen mit 90% Reflektivität
Auflösung	0.07mm
Systematischer Distanzmessfehler[11]	± 2mm bei 25m
Reproduzierbarkeit (Rauschreduziert[12] **/ ungefiltert)**	@10 m: 0.4mm/0.8 mm rms[13] @ 90 % refl. | 0.7mm/1.4 mm rms @ 10% refl. @25 m: 0.5mm/1.0 mm rms @ 90 % refl. | 1.35mm/2.7 mm rms @ 10% refl.
Messrate	122 000 / 244 000 / 488 000 / 976 000 Punkte/Sekunde
Ablenkeinheit	
Vertikales Sichtfeld	320°
Horizontales Sichtfeld	360°
Vertikale Auflösung	0.009° (40,000 3D-Pixel auf 360°)
Horizontale Auflösung	0.00076° (470,000 3D-Pixel auf 360°)
Winkelauflösung (hor./vert.)	±0.009°

[10] *Abhängig vom Umgebungslicht, das Rauschen verursachen kann. Strahlender Sonnenschein verkürzt die Reichweite.*
[11] *gemessen auf einem senkrecht stehenden unbewegten Referenzpapier mit 90% Reflektivität im gemittelten Modus.*
[12] *Algorithmus zur Rauschkompression*
[13] rms – root mean square – ist der quadratische Mittelwert, bei dem größere Werte einen stärkeren Einfluss haben

Max. vertikale Scangeschwindigkeit	2,880 rpm
Laser (Optischer Sender)	
Laserleistung (CW)	20mW
Laserklasse	Laserklasse 3R nach EN 60825-1
Wellenlänge	785 nm
Strahldivergenz	0.16 mrad (0.009°)
Strahldurchmesser beim Austritt	3.3 mm, kreisrund
Allgemein	
Interner PC	Intel Celeron-M 600MHz, 512MB RAM, 80GB HD
Empfohlene Umgebungs- und Lagertemperatur	5° - 40°
Feuchtigkeit	Nicht kondensierend
Gewicht	14.5kg
Abmessung (LxBxH)	410mm x 160 mm x 280mm

Entfernungseinheit

Die Reichweite ist von einigen Faktoren abhängig, wie schon im Kapitel zuvor erläutert. Laut Herstellerangaben kann der Scanner bei schwachem Umgebungslicht auf Oberflächen mit 90% Reflektivität eine maximale Reichweite von 153 m und bei bewölktem Außenlicht von 120 m erreichen. Damit wird der Phasenscanner nach Ingensand in die Kategorie „Große Reichweite“ eingeordnet.

Eine Auflösung von 0.07 mm bei der Streckenmessung bedeutet, dass die Entfernung, das Abtastintervall, zwischen zwei gemessenen Punkten mindestens diesen Abstand hat. Aufgrund von Strahldivergenz[14], zunehmender Entfernung und Änderungen bei der Auflösungseinstellung werden die Rasterschritte größer, womit diese Angabe doch eher für kürzere Abstände vom Standpunkt und der vollen Auflösungseinstellung gilt.

Für die einzelnen Messungen kann eine Messrate zwischen 122 000 und 976 000 Punkten pro Sekunde gewählt wird, was die Dauer eines Scans beeinflusst.

FARO gibt für seinen Scanner die Messgenauigkeiten für 10m und 25m an. Dabei wird zusätzlich noch zwischen Reflektivitätswerten von 90% und 10% unterschieden. So ist zu erkennen, dass die Genauigkeit bei ungefilterten Messungen auf Oberflächen mit

[14] Mit zunehmender Entfernung wird der Durchmesser des Laserstrahls größer.

10% Reflektivität von 1,4mm auf 2,7mm und auf Oberflächen mit 90% von 0,8mm auf 1,0mm sinkt.

Ein Vergleich mit anderen Herstellern von Laserscannern ist nur schwer möglich, da es im Moment noch keine einheitlichen Standards gibt. So ermittelt jeder Hersteller nach seinen eigenen Prüfverfahren die Werte für seine Technischen Angaben.

Ablenkeinheit

Der Winkelmessbereich wird für den Panoramascanner mit 360° horizontal und 320° vertikal angegeben. Aus der Differenz zwischen Vollwinkel und vertikalem Messbereich entsteht somit ein Öffnungswinkel von 40 Grad. Für eine Aufstellung des Gerätes hat dies zur Folge, dass der kegelförmige Messschatten aufgrund der Abhängigkeit zur Instrumentenhöhe in seiner Größe variiert.

Wurde zuvor die Auflösung noch anhand der Strecke angegeben, so kann dies auch mit Hilfe von Winkeln erfolgen. Für das polare Raster ergeben sich laut Hersteller somit Schrittgrößen von 0,009° vertikal und horizontal von 0,00076°. Theoretisch würden dies Werte von 470 000 Punkten je Zeile und 40 000 Punkten je Spalte für einen Messbereich von 360° horizontal und vertikal bedeuten.
Laut Hersteller beträgt die Winkelauflösung letztendlich effektiv 0,009°, was mit einer Punktdichte von 40 000 pro 360 Grad angegeben wird. In der Praxis hat sich gezeigt, dass ein 360°-Scan bei voller Auflösung vom Gerät nicht realisiert wird, denn bei Versuchen wurde der Scan zwar gestartet nach einiger Zeit aber abgebrochen. Der Versuch mit Teilbereichen konnte dann aber erfolgreich abgeschlossen werden.

Hinter der Angabe für die maximale vertikale Scangeschwindigkeit verbirgt sich die Drehgeschwindigkeit des rotierenden Spiegels, die bei 2 880 Mal pro Minute liegt. Zum Vergleich liegt die Drehzahl einer Audio-CD bei 200-500 min^{-1}.

Die optische Sendeeinheit (Laser)

Mit einer Wellenlänge von 785 nm handelt es sich um einen Infrarotlaser, der einen kontinuierlichen Laserstrahl mit einer Leistung von 20 mW erzeugt.

Entsprechend seiner Gefährlichkeit für den Menschen wird der Laser vom Hersteller nach der Norm DIN EN 60825-1 klassifiziert (Tab. 4.2), wodurch bei der Arbeit bestimmte Sicherheitsvorschriften zu beachten sind. Besonders wichtig ist dabei der Au-

gensicherheitsabstand, der von der eingestellten Auflösung und der Leistung des Lasers abhängig ist. Innerhalb des Gefährdungsbereiches ist daher das Tragen einer Schutzbrille Vorschrift.

Zu den Sicherheitsmaßnahmen seitens des Herstellers zählt der Lasersicherheitsschlüssel. Dieser schaltet das Lasermodul an und aus, womit der Laser nur während des Messvorgangs aktiviert ist.

Tabelle 4.2: Laserklassen nach DIN EN 60825-1 [10]

Klasse	Wellenlängenbereich	Beschreibung
1	180 nm – 1 mm	Sicher unter vernünftigerweise vorhersehbaren Betriebsbedingungen
1M	180 nm – 1 mm	Ohne Verwendung optischer Instrumente sicher unter vernünftigerweise vorhersehbaren Betriebsbedingungen
2	400 nm – 700 nm	Üblicherweise sicher durch Lidschlussreflex des Auges
2M	400 nm – 700 nm	Ohne Verwendung optischer Instrumente üblicherweise sicher durch Lidschlussreflex des Auges
3R	302,5 nm – 1 mm	Geringes Gefährdungspotenzial bei zufälliger Bestrahlung
3B	180 nm – 1 mm	Direkter Blick in den Strahl gefährlich, diffuse Reflexionen üblicherweise ungefährlich
4	180 nm – 1 mm	Direkter Blick in den Strahl und diffuse Reflexionen gefährlich

Allgemeines

Der interne Computer ist eine wichtige Komponente des Gerätes und die wichtigsten Eigenschaften sind der Tabelle 4.1 zu entnehmen. Außer für die Steuerung und das Herunterladen der Scandateien hat der Kunde allerdings keinen Zugriff auf den PC. So ist es zum Beispiel dem Anwender nicht möglich eine falsche Systemzeit zu korrigieren ohne sich an den Support zu wenden und eventuell das Gerät sogar zum Hersteller zu senden.

Zum Lieferumfang des FARO Laser Scanner Photon 120 gehören ein Stativ, zwei Starterkits, welche 10 Kugeln mit Magnetfuß beinhalten, eine Power-Base Batterie sowie den Scannertransportkoffer, in dem sich die folgende Ausstattung befindet:

- FARO Laser Scanner Photon 120 mit Dreifuß
- Lasersicherheitsschlüssel

- Laserschutzbrille
- Daten- und Stromversorgungskabel (blau)
- Anschlusseinheit
- Netzgerät mit Netzkabel
- Ethernetkabel (grün)

Nicht zum Standardlieferumfang gehören der Kameraschlitten und die digitale Kamera für die Farboption.

Für den Einsatz wichtige Angaben sind die Betriebs- und Lagertemperatur sowie die Luftfeuchtigkeit. Laut Hersteller soll der Scanner in einem Temperaturbereich von 5° bis 40° Celsius betrieben werden und die Luftfeuchtigkeit sollte nicht über 80% liegen. Für die Praxis bedeutet dies, dass der Scanner im Außenbereich nicht bei Regen, Schnee oder starkem Nebel betrieben werden soll. Ein Einsatz bei diesen Wetterbedingungen würde sowieso nicht sinnvoll sein, denn zum einen würde sich der Niederschlag auf dem Spiegel niedersetzen und zum anderen würde der Laserstrahl z.B. von den Regentropfen reflektiert und falsche Scanpunkte erfassen. Im Scan entsteht somit ein starkes Rauschen, welches eine Auswertung nicht möglich macht.

4.3 FARO Software

Vom Hersteller wird mit dem Laserscanner standardmäßig die Software FARO Record, FARO Scene, sowie der Viewer FARO Scout ausgeliefert. Der Viewer steht in der Version FARO Scout LT zudem auf der Homepage des Herstellers zum kostenlosen Download[15] bereit. FARO Record wird vom Hersteller als Steuerungssoftware für den Scanner mitgeliefert und FARO Scene als Auswerteprogramm der Scandateien. Im Rahmen der Arbeit wurde die Programmversion 4.6 benutzt.

Auf den ersten Blick scheint es, dass der Anwender zwei Softwarelösungen erhält. Doch lässt sich bei näherer Betrachtung feststellen, dass die Programme fast identisch sind und sich nur in wenigen Bereichen voneinander unterscheiden. Beispiel dafür ist die Steuerung des Scanners, die mit beiden Programmen möglich ist.

[15] http://www.faro.com/content.aspx?ct=ge&content=pro&item=5&subitem=49&tab=2

Trotz der nur geringen Funktionsunterschiede sollen die Programme im Folgenden getrennt betrachtet werden. Die Beschreibung der Steuerung wird anhand von FARO Record erfolgen.

4.3.1 Die Steuerung mit FARO Record

Mit FARO Record wird der Laser Scanner über einen Bedien-PC gesteuert. Die Software ermöglicht die Einstellung der Scanparameter, das Starten und Stoppen eines Scans, sowie die Betrachtung des Scanergebnisses bereits vor Ort. Damit wird es dem Benutzter ermöglicht, direkt nach dem Scannen eine erste Beurteilung des Ergebnisses zu treffen und eventuelle Veränderungen bei den Einstellungsparametern vorzunehmen.

Für die Steuerung des Scanners gibt es verschiedene Verbindungstypen. So ist neben der Ethernet-Verbindung (LAN[16]) auch eine kabellose (WLAN[17]) Verbindung möglich. Es besteht außerdem die Möglichkeit den Scanner über die Web-Schnittstelle FARO Record Mobile mittels WLAN über einen PDA[18] oder den Apple iPod touch zu bedienen.
Sind die Geräte einsatzbereit, wird das Programm gestartet. Es befindet sich eine Statusleiste im Programm, die dem Benutzer anzeigt, ob eine Verbindung zum Scanner besteht und dieser startbereit ist. In der Bedienoberfläche befindet sich die Scan-Werkzeugleiste (Abb. 4.3), mit der die Steuerung und Einstellung der Scanparameter erfolgt.



Abb. 4.3: Scan-Werkzeugleiste [3]

Arbeitet der Benutzer dagegen mit FARO Record Mobile, so erfolgt der Start über einen entsprechenden Webbrowser wie den InternetExplorer, der nur bei einer Verbindung zwischen dem Scanner und dem Rechner die Startseite anzeigt.

Zunächst wird im Webbrowser die ***Scan*** Seite von FARO Record Mobile geöffnet. Hier kann vom Benutzer der Scan gestartet und falls notwendig abgebrochen werden. Außerdem lassen sich hier Fortschritt und Statusmeldungen ablesen. Um auf die anderen Ein-

---

[16] LAN: Local Area Network, ein lokales Netz in der Computertechnik
[17] WLAN: Wireless Local Area Network, kabelloses lokales Netz
[18] PDA: Personal Digital Assitant, persönlicher digitaler Assistent ist ein kompakter tragbarer Computer

stellungsseiten zu zugreifen wird wie in Abbildung 4.3 zu sehen das einfache Linksystem verwendet. Es handelt sich dabei um die folgenden Seiten:

- ***Settings*** (Einstellungen)
- ***Color*** (Farbe)
- ***Project*** (Projekt)
- ***Operator*** (Bediener)
- ***Storage*** (Speicher)
- ***Scans***

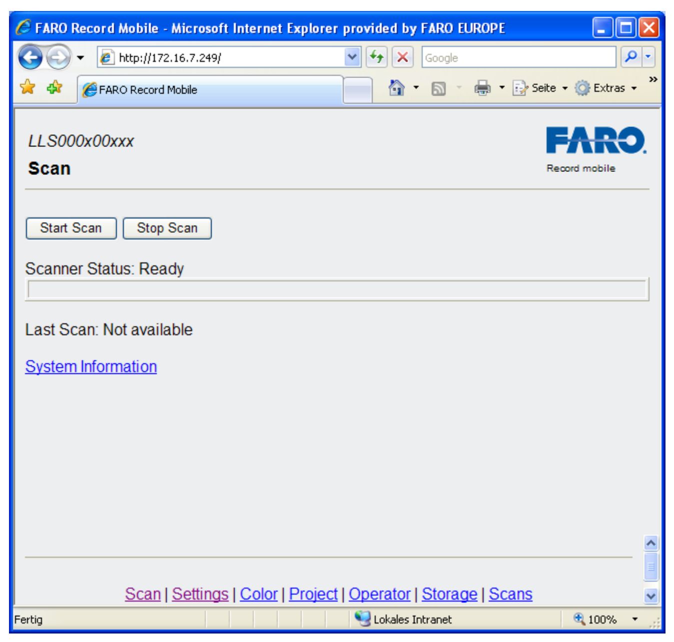


Abb. 4.4: FARO Record Mobile Startseite im Webbrowser [3]

Am wichtigsten dabei ist die Seite für die ***Einstellungen*** der Scanparameter. Die Abbildung 4.4 zeigt die Einstellungsmöglichkeiten der Seite, die mit dem Winkelbereich beginnen. Hier legt der Anwender fest, ob nur ein Teilbereich oder der gesamte Messraum abgescannt wird.

Mit der Distanzreichweite ist der maximale Bereich gemeint, in dem die Punkte aufgenommen werden. Eine Änderung dieses Wertes hat keine Auswirkungen gezeigt.

Tabelle 4.3 gibt einen Überblick über die umfangreichen Einstellungsmöglichkeiten für die Auflösung. Außerdem zeigt sie für eine Auflösung die unterschiedlichen Messraten daneben die entsprechenden Werte für die Scanzeit und den Augensicherheitsabstand. Die resultierende Scanauflösung wird durch die eingestellte Auflösung festgelegt und

kann in vom Hersteller vorgegebenen Stufen variiert werden. Sie reichen von voll 1/1 bis zu 1/32. Um zu verdeutlichen was dahinter steht gibt die 6. Spalte der Tabelle 4.3 auf der folgenden Seite die Auflösung, also den Abstand zwischen zwei gemessen Punkten auf der Oberfläche, für eine Entfernung von 10 Metern an.

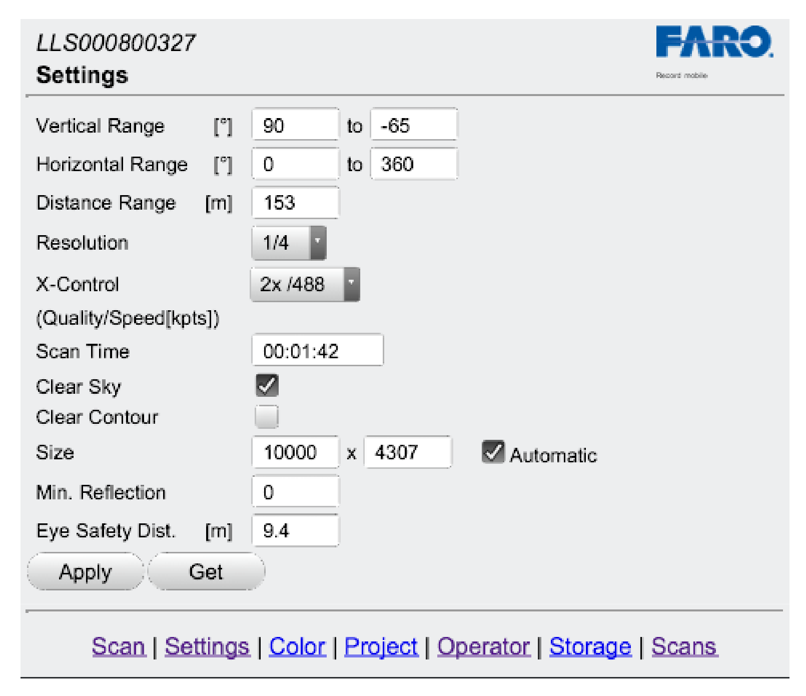


Abb. 4.5: FARO Record Mobile: Seite zur Einstellung der Scanparameter [3]

Die X-Control Einstellung ermöglicht es dem Benutzer eine für das Scanprojekt geeignete Kombination aus Qualität und Scanzeit einzustellen. So bedeutet eine hohe Qualität mit vermindertem Rauschen im Scan eine höhere Scanzeit und eine schnelle Scanzeit eine geringere Qualität des Scans. Je nach Größe des Projekts muss deshalb entschieden werden, mit welchen Einstellungen gescannt wird. Handelt es sich beispielsweise um Projekte, die ein hohes Detaillevel fordern, so empfiehlt es sich eine höhere Qualität zu wählen. Eine schnellere Scanzeit kann dagegen bei Projekten gewählt werden, die eine Vielzahl von Standpunkten mit entsprechenden Überlappungen erfordern. Somit ergibt sich die Scanzeit dann aus der gewählten Auflösung und dem X-Control Wert.

Tabelle 4.3: Auflösung und X-Control Einstellungen [nach 2]

Auflösung	X-Control	Messrate [kpt/sec]	Rausch-kompression	Netto-scanzeit (voller Scan)	mm/10m	Augensicherheits-abstand [m]
1/1	1x	976	-	0:13:39	1.571	16.1
1/1	2x	488	-	0:27:18		16.1
1/1	3x	244	-	0:54:36		16.1
1/1	4x	122	-	1:49:12		16.1
1/2	1x	976	-	0:03:24	3.142	16.1
1/2	2x	488	-	0:06:49		16.1
1/2	3x	244	-	0:13:39		16.1
1/2	4x	122	-	0:27:18		16.1
1/2	5x	244	2x	0:54:36		16.1
1/2	6x	122	2x	1:49:12		16.1
1/4	2x	488	-	0:01:42	6.283	9.4
1/4	3x	244	-	0:03:24		9.4
1/4	4x	122	-	0:06:49		9.4
1/4	5x	244	2x	0:13:39		16.1
1/4	6x	122	2x	0:27:18		16.1
1/4	7x	244	4x	0:54:36		16.1
1/4	8x	122	4x	1:49:12		16.1
1/5	2x	488	-	0:01:05	7.854	7.5
1/5	3x	244	-	0:02:11		7.5
1/5	4x	122	-	0:04:22		7.5
1/8	3x	244	-	0:00:51	12.566	9.4
1/8	4x	122	-	0:01:42		9.4
1/8	5x	244	2x	0:03:24		16.1
1/8	6x	122	2x	0:06:49		16.1
1/8	7x	244	4x	0:13:39		16.1
1/8	8x	122	4x	0:27:18		16.1
1/10	3x	244	-	0:00:32	15.708	3.8
1/10	4x	122	-	0:01:05		3.8
1/10	5x	244	2x	0:02:11		7.5
1/10	6x	122	2x	0:04:22		7.5
1/16	4x	122	-	0:00:25	25.133	2.4
1/16	5x	244	2x	0:00:51		4.7
1/16	6x	122	2x	0:01:42		4.7
1/16	7x	244	4x	0:03:24		9.4

1/16	8x	122	4x	0:06:49		9.4
1/20	4x	122	-	0:00:16		1.9
1/20	5x	244	2x	0:00:32		3.8
1/20	6x	122	2x	0:01:05	31.416	3.8
1/20	7x	244	4x	0:02:11		7.5
1/20	8x	122	4x	0:04:22		7.5
1/32	6x	122	2x	0:00:25		2.4
1/32	7x	244	4x	0:00:51	50.265	4.7
1/32	8x	122	4x	0:01:42		4.7

Bei Clear Sky („sauberer Himmel") handelt es sich um einen Filter, der im Scan Punkte entfernt, die entstehen obwohl der Laserstrahl gar kein Objekt getroffen hat und zwar hauptsächlich im Außenbereich, wenn der Himmel gescannt wird. Auch Clear Contour („saubere Kante") ist ein Filter, welcher die fehlerhaften Messungen an Kanten entfernt, die entstehen wenn der Laserstrahl auf zwei Objekte trifft die hintereinander liegen.

Die horizontale und vertikale Größe des Scans wird in Scanpunkten gemessen und steht im Verhältnis 1:1. Aufgrund der Vorgaben für den vertikalen Winkelbereich und die Auflösung wird die vertikale Größe des Scans bestimmt.
Über den Button Apply (Annehmen) werden schließlich die Einstellungen bestätigt und der Augensicherheitsabstand berechnet.

Beim Betrieb des Scanners mit einer Kamera, wird auf der Seite ***Colors*** die Funktion „*Scan with color*" (mit Farbe scannen) aktiviert. Die Seiten ***Projekt*** und ***Bediener*** dienen der Eingabe von Informationen, um die Scans später den entsprechenden Projekten zuzuordnen.
Auf der Seite ***Speicher*** hat der Benutzer die Möglichkeit, einen Dateibasisnamen festzulegen und die Nummer bei der angefangen wird zu zählen. Bei der Steuerung des Scanners über FARO Record Mobile kann der Speicherpfad nicht angegeben werden, da die Speicherung automatisch auf der Festplatte des Scanners erfolgt.
Alle aufgenommenen Scans, die sich auf dem Scannerlaufwerk befinden, werden auf der Seite ***Scans*** mit Name, Datum, Erstellungszeit, einem Link zum Download und einem Symbol zum löschen aufgeführt. Wird ein Scan auf dieser Seite angeklickt, so wird im Webbrowser ein Bild des Scans geöffnet, welches sich der Anwender ansehen kann.

4.3.2 Überblick über FARO Scene

An dieser Stelle erfolgen ein paar grundlegende Informationen zu diesem Programm, da sich im Verlauf der Auswertung der Scanaufnahmen ausführlicher damit beschäftigt wird.

Mit FARO Scene kann der Anwender seine 3D-Punktwolken anzeigen, verwalten und bearbeiten. Dafür sollte der verwendete Rechner die in Tabelle 4.4 aufgeführten Systemanforderungen mindestens erfüllen. Desweiteren ist für die Nutzung der Programme ein Lizenzschlüssel von FARO notwendig, welche allerdings an den Rechner gekoppelt ist.
In der benutzten Version handelt es sich um ein 32-bit Programm, das auf einem 64-bit Betriebssystem lauffähig ist.

Tabelle 4.4: FARO Scene/ FARO Record Systemanforderungen

Systemanforderungen	
Betriebssystem	Microsoft Windows XP (Professional oder Home Edition, SP1 oder später); Windows 2000 (SP 2 oder später)
Prozessor	1GHz (2.5 GHz empfohlen)
Arbeitsspeicher	1 GB RAM (2 GB empfohlen)
Grafikkarte	32 MB und OpenGL unterstützen
Sonstiges	Netzwerkkabel für Lizenzierung

Die Benutzeroberfläche ist einfach gestaltet und setzt sich aus der Menüleiste, dem Arbeitsbereich und einem Fenster für die Darstellung zusammen. Der Arbeitsbereich, Workspace genannt, strukturiert die Daten wie in einem Dateimanager und dient dem Benutzer so zur Verwaltung seines Projektes.
Neben dem eigenen Scandatenformat (*.fls) unterstützt FARO mit seinem Programm auch Scanformate anderer Hersteller. Darunter sind die Scandateien von Riegl (*.txt), Leica (*.ptx, *.ptz) und das allgemeine Format *.xyz.
Zur Betrachtung und Darstellung eines Scans gibt es die flächenhafte und die räumliche Ansicht, sowie die Schnellansicht. Wie der Name es schon verrät, kann sich der Anwender mit der Schnellansicht einen Überblick über den Inhalt des Scans verschaffen, es ist sozusagen eine Vorschau für den Scan. In der flächenhaften Ansicht dagegen wird der horizontale Winkelbereich abgerollt und ist ähnlich einem Foto. Eine Darstellung

des Scans mit der tatsächlichen Geometrie erfolgt über die räumliche Ansicht, welche die Punktwolke mit den Intensitätswerten oder in Farbe darstellt.
Ist ein Scan in der flächenhaften Ansicht geöffnet kann der Anwender mit einem einfachen Messwerkzeug den Abstand zwischen Scanpunkten bestimmen. So lassen sich auf schnelle und einfache Weise zum Beispiel die Fensterbreite oder die Türhöhe erfassen.

Im Ordner Scans des Arbeitsbereiches werden alle importierten Scandateien mit entsprechendem Dateinamen angezeigt. Während der Auswertung werden dann nach und nach die Elemente hinzugefügt, die mit dieser Punktwolke verbunden sind. Dazu gehören neben den Passpunkten und dem Ergebnis der Stationierung (ScanFit) zum Beispiel auch Ebenen, Zylinder und Wände. Um dem Anwender eine schnelle Zuordnung all dieser Elemente zu ermöglichen, sind sie mit entsprechenden Symbolen visualisiert. So steht beispielsweise eine Wolke für einen Scan.
Bei der Speicherung des Arbeitsbereiches (*.fws) wird dessen Struktur gespeichert, so dass die Größe der Datei gering gehalten wird. Am Speicherort der Datei wird ein Unterordner *Scans* angelegt, in dem alle Scandateien hinterlegt werden und worauf bei der Verwendung zurückgegriffen wird.

Die wichtigste Aufgabe des Programms ist aber zweifelslos die Stationierung und die Verknüpfung der einzelnen Scans. An dieser Stelle entsteht erst aus vielen einzelnen Scans das Gesamtprojekt. Ist dieser Arbeitsschritt abgeschlossen, kann der Benutzer je nach Aufgabe entscheiden, wie er weiterverfährt und was mit den Daten geschieht. Diese Aufgaben reichen vom Einfärben der Scans, über den Export von Schnitten bis hin zur Vermaschung von Objekten.
Ist auf dem Rechner zusätzlich das Programm PointCloud oder die Version des Herstellers FARO Cloud installiert ist eine AutoCad Schnittstelle vorhanden. Dadurch können 2D oder 3D Koordinaten von Punkten direkt in ein CAD-Programm übertragen werden.

4.4 Kubit PointCloud

Die Kubit GmbH ist eine Firma mit Sitz in Dresden, die Software für die Vermessung und Datenerfassung entwickelt. Ihre Softwarelösung PointCloud ist eine AutoCad[19]-Applikation für die Darstellung und Verarbeitung von Punktwolken.

Für die Auswertung wurde mit der Version 5 gearbeitet. PointCloud unterstützt sowohl die 32-bit Betriebssysteme Windows 2000, XP, Vista und 7 sowie die 64-bit Versionen Windows XP-Professional, Windows Vista-64-bit und Windows 7-64-bit mit den jeweiligen AutoCad Versionen 2007-2010.
Die Entwickler empfehlen für eine vernünftige Arbeit den Einsatz eines 64-bit Systems, einen leistungsfähigen Prozessor und geben zudem für den Arbeitsspeicherbedarf den Hinweis, dass pro 1 Million Punkte mit ca. 65 MB für den Arbeitsspeicher gerechnet werden muss. So würde eine Punktwolke mit 10 Millionen Punkten bereits 650 MB des Arbeitsspeichers ausnutzen. Bei sehr großen Punktmengen kann es also durchaus vorkommen, dass der Rechner aufgrund seiner Arbeitsspeichergröße anfängt Dateien auf der Festplatte auszulagern, was die Geschwindigkeit erheblich heruntersetzt.

Da es sich bei PointCloud um eine herstellerunabhängige Software handelt, können verschiedene Scandatenformate verwendet werden, die in Tabelle 4.5 zusammengefasst sind. Beim Import dieser fremden Dateiformate konvertiert das Programm sie automatisch in das eigene *.ptc Format, was zeitaufwendiger ist als eine *.ptc Datei direkt einzufügen.

Tabelle 4.5: Importformate in PointCloud

Hersteller/ Format	Dateiendung/ Beschreibung
PointCloud Format	*.ptc
Leica	*.ptz
Riegl RiSCAN PRO Projekt	*.rsp; Punktwolken oder Orthofotos
ASCII-Format	Koordinatendatei mit RGB Wert möglich

[19] AutoCad ist ein Programm aus einer riesigen CAD-Produktpalette der amerikanischen Firma Autodesk. Es ist das weltweit meistgenutzte CAD-Programm zum Erstellen von 2D- und 3D Zeichnungen.

PointCloud wird in zwei Varianten angeboten und zwar in einer Grund- und einer Pro-Version. Die Pro-Version besitzt den größeren Funktionsumfang und so stehen die Funktionen für die ausgleichende Polylinie, das Arbeiten mit Ebenen, Zylindern und Bildern nur diesen Anwendern zur Verfügung.
Wie heutzutage bei vielen Programmen üblich, ist auch PointCloud nur mit einer Lizenz funktionsfähig. Dazu muss der Dongle, der sogenannte Codemeter USB-Stick, am Rechner angeschlossen sein.

4.4.1 Funktionsweise in AutoCAD

Nach der Installation des Programms wird in AutoCad der Menüpunkt PointCloud hinzugefügt. Außerdem kann der Benutzer die Werkzeugkästen (Abb. 4.5) individuell platzieren.

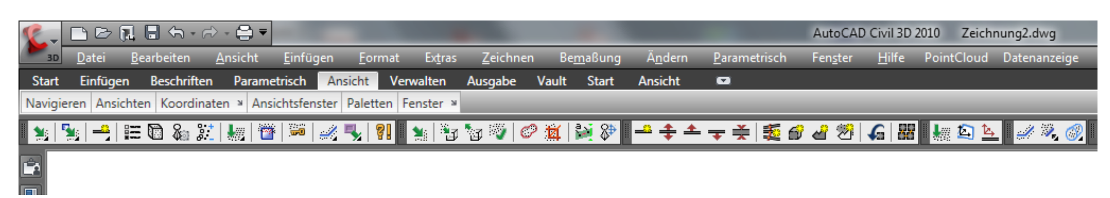


Abb. 4.6: AutoCad Aufsatz PointCloud

Die Punktwolke, die auf den aktuell eingestellten Layer importiert wird, ist in AutoCad ein Objekt, wodurch einzelne Punkte aus ihr nicht gelöscht werden können. Zur Kennzeichnung des Objektes gibt es zwei Möglichkeiten. So kann die Punktwolke einmal über eine *Bounding Box* (ein umschließendes Rechteck) angezeigt werden oder der Anwender greift über die *Anfasserposition* auf das Objekt zu. Während die Bounding Box ein- oder ausgeschaltet werden kann, ist die Anfasserposition immer zu sehen und kann individuell platziert werden.
Obwohl mehrere Punktwolken gleichzeitig in der Zeichnung vorhanden sein können, kann doch immer nur mit einer gearbeitet werden. Diese ist durch grüne Ecken gekennzeichnet und wird als aktiv bezeichnet. Um den Arbeitsspeicher nicht unnötig zu belasten, können Punktwolken entladen werden. Die Punkte werden dafür vorübergehend entfernt und um dies dem Benutzer kenntlich zu machen sind die Ecken der Begrenzung sowie der Anfasserposition gelb dargestellt. Punktwolken, die in der Zeichnung geladen aber nicht aktiv sind, weisen schwarze Ecken auf.

Mit den Ebenenfunktionen lassen sich Flächen erstellen, die miteinander verschnitten werden können. So entstehen die Schnittlinie zwischen zwei Ebenen und der Schnittpunkt beim Schnitt von drei Ebenen. Um den Schnittpunkt von den Punkten der Punktwolke zu unterscheiden ist es ratsam den Punkt-Stil in AutoCad zu verändern. So kann die Punktewolke über Flächen modelliert werden und es entsteht ein 3D-Modell.
Eine Linie zwischen Punkten der Punktwolke kann gezeichnet werden, da PointCloud den Punktfang in AutoCad unterstützt. Damit können auf alle Punkte der Punktwolke die typischen AutoCad Funktionen zum Zeichnen angewandt werden.

4.5 LupoScan

„Ob 3D Laserscanning, Photogrammetrie oder Softwareentwicklung - Lupos3D steht für einfach überzeugende 3D-Vermessungs-Konzepte. In unserem erfahrenen Team kooperieren Spezialisten aller hierbei relevanten Disziplinen. Genau auf Ihre Bedürfnisse abgestimmt, erarbeiten wir so wirtschaftliche Lösungen für nahezu jede Art der Bestandsaufnahme. Mit unserem innovativen Softwareprodukt LupoScan eröffnen wir Ihnen den Weg zur effizienten, zielgerichteten Auswertung großer Datenmengen.“[20]

Die Berliner Firma Lupos3D GbR bietet mit LupoScan eine herstellerunabhängige Softwarelösung, die sich an Anwender richtet, die Projekte in den Bereichen Architektur, Archäologie, Denkmalpflege, Geologie und Industrie bearbeiten. Sie ist in den Versionen ***Basic*** und ***Pro*** zu erhalten und funktioniert nur im Zusammenhang mit einer Lizenz, die sich auf einem Codemeter USB-Stick befindet. Im Mai dieses Jahres ist die aktuelle Version 4 erschienen, mit der auch gearbeitet wurde. Darüber hinaus gibt es noch einen kostenlosen Viewer, der von der Homepage[21] der Firma heruntergeladen werden kann und sich in der Version 4.0.2 auf dem Datenträger im Anhang befindet.
Die Softwarefirma gibt für das Programm keine speziellen Systemanforderungen an. Eine Nachfrage ergab, dass die Software auch auf sogenannten kleineren Systemen lauffähig ist. Es werden die Windowsbetriebssysteme ab Windows 2000 in den 32-bit und 64-bit Versionen unterstützt und Rechner mit geringerem Arbeitsspeicher (500 MB) können benutzt werden. Dabei sollte dem Anwender aber bewusst sein, dass ein ver-

20. http://www.lupos3d.de/profil/
[21] http://www.lupos3d.de/software/

nünftiges Arbeiten mit großen Scandateien und ein gewisses Arbeitstempo nur auf leistungsfähigen Rechnern gewährleistet werden kann. Im Moment handelt es sich noch um eine 32-bit Programmversion, doch wird zurzeit an der Entwicklung einer 64-bit Programmversion gearbeitet, die voraussichtlich Ende 2010 erscheinen soll.

Als herstellerunabhängige Softwarelösung unterstützt LupoScan den Import von Scandateien der Hersteller Z&F (Zöller & Fröhlich), FARO, Leica und Riegl. Beim Import werden diese dann automatisch in das LupoScan-Format (*.lps) umgewandelt. Wobei es keine Rolle spielt, ob es sich um nicht referenzierte oder bereits referenzierte Scandateien handelt.

Die Benutzeroberfläche von LupoScan setzt sich aus den Werkzeugleisten, dem Verzeichnisbaum und dem Arbeitsbereich zusammen. Über die Werkzeugleisten werden die verschiedenen Funktionen aufgerufen, so z.B. die Funktionen Orientierung, Punktwolke, Schnitte und Orthofoto. Im Arbeitsbereich werden die geöffneten Dateien des Projekts dargestellt.
Nach dem Start der Anwendung wählt der Benutzer über den Verzeichnisbaum das entsprechende Projektverzeichnis. Dabei handelt es sich um einen Dateiordner auf dem Computer, der alle Dateien des Projekts enthält. Neben dem LupoScan-Format zählen dazu unter anderem auch die Scandateien der Hersteller, Bilder, Orthofotos und 3D-Objekte. Der Verzeichnisbaum des Programms stellt diese Dateien übersichtlich und nach dem Dateiformat sortiert dar.
Ist eine Scandatei ausgewählt, erscheint unter dem Verzeichnisbaum eine Miniaturansicht des Scans. Damit hat der Benutzer die Möglichkeit ohne den Scan zu öffnen, einen gewünschten Scan des Projekts schnell zu finden. Mit einem Doppelklick wird der Scan in der 2D-Ansicht geöffnet. Sind in diesem zusätzlich Farbinformationen hinterlegt, so kann der Anwender über das Kontextmenü zwischen dem Intensitäts- und dem Farbmodus schnell wechseln.

Als eigenständige Softwarelösung bietet LupoScan auch die Orientierung von Scans an. Dabei werden die Scans in ein Referenzsystem überführt. Passpunkte können entweder Punkte oder Kugeln sein. Für die Orientierung werden für ein ausreichend sicheres Ergebnis fünf Verknüpfungspunkte benötigt. Nachdem die Passpunkte im Scan markiert sind, erfolgt die Berechnung der Orientierung. Das Ergebnis wird in einer Textdatei

hinterlegt und zeigt für jeden Punkt die Abweichungen der einzelnen Koordinaten an. Darüber hinaus enthält die Datei Angaben zur Standardabweichung, sowie die Transformationsparameter.

Im Gegensatz zur Basic Version enthält die ProVersion unter anderem noch die folgenden Funktionen, die für komplexe Auswertungen unerlässlich sind.

- Diverse Filterfunktionen, z.B. Auffüllen, isolierte Punkte, Auftreffwinkel
- Ausgleichskörper (Ebene, Zylinder, Kugel)
- Orthofotos
- Schnitte bezüglich beliebiger Ebenen
- Deformationsanalyse
- Berechnen von Normalen- und Spot-Bildern

5 Bestandsaufnahme mit dem FARO Photon 120

Jede Vermessung, ob nun klassisches Verfahren oder modernes Laserscanning beginnt mit der Vorbereitung und Planung der Messaufgabe. Für den Anwender bedeutet das im Einzelnen sich für ein Messverfahren oder eine Kombination aus mehreren zu entscheiden, die Ausrüstung zusammenzustellen und zu überprüfen sowie den Ablauf bis hin zu eventuellen Problemen in Gedanken durchzugehen.

5.1 Vorbereitung der Messung

Zur Vorbereitung zählen nicht nur die Planungen zum Messablauf, sondern bereits jetzt die Überlegungen mit welchen Programmen die Datenauswertung erfolgen soll. Denn alle Arbeitsschritte sind voneinander abhängig und haben Einfluss auf das Endergebnis. Wird beim Messen nicht sorgfältig gearbeitet, kann es passieren, dass eine Auswertung im schlimmsten Fall nicht möglich ist und die Messung wiederholt werden muss.

Bei einem Vor-Ort-Termin in Neustrelitz konnte sich ein erster Überblick verschafft werden. Ein Rundgang durch das Gebäude zeigte auch sofort eine Schwierigkeit im Erdgeschoss auf. Obwohl das Haus seit einigen Jahren leersteht und bereits entkernt wurde, befindet sich seit einiger Zeit im Erdgeschoss der Theaterfundus.
In den Räumen wurden an die Decken Stangenkonstruktionen angebracht (Abb. 5.1), die als Kleiderstangen dienen. Vom Fußboden bis in eine Höhe von knapp 2 m und dicht an dicht hängen die Kleider, so dass sich eine Person in dem Raum kaum bewegen kann. Das Erdgeschoss, bis auf den Flurbereich, gleicht somit einem riesigen Kleiderschrank.
Um mit dem Laserscanner in diesen Räumen messen zu können, müsste die Instrumentenhöhe mindestens 2,20 m betragen, damit die Räume zumindest in der oberen Hälfte erfasst werden könnten, was aufgrund der Raumhöhe theoretisch möglich wäre. Zu bedenken ist aber, dass die Verteilung der Passpunkte eingeschränkt ist und eine stark verminderte Bewegungsfreiheit bei der Standpunktwahl besteht. Um die Räume zu scannen, wäre also eine komplette bzw. teilweise Freiräumung erforderlich. Da dieser Bitte nicht entsprochen werden konnte, fiel die Wahl in den betroffenen Bereichen auf

eine Kombination aus tachymetrischer Messung und Handaufmaß. Dabei wurde mit dem Handaufmaß das gesamte Erdgeschoss erfasst, was einen Arbeitstag dauerte, und mit dem Tachymeter durch Mitarbeiter des Büros die Räume mit den Kleidern. Doch auch damit konnten nicht alle Räume erfasst werden, da es einfach viel zu eng war, wie der Blick in diesen Raum zeigt (Abb. 5.1)



Abb. 5.1: Hindernis beim Scannen

Für den teilunterkellerten Bereich des Gebäudes wurde sich ebenfalls für das Handaufmaß entschieden, da es sich wie bereits erwähnt um wenige schmale und niedrigere Räume handelte und es feucht war. Zudem wurde zwischen Aufwand und Zweck verglichen und letztendlich das Verfahren als ausreichend betrachtet.

Für die Aufnahme der Fassaden und des Ober- und Dachgeschosses fiel die Entscheidung auf das terrestrische Laserscanning, da gerade für die Fassaden vom Auftraggeber ein hoher Level an Detail gefordert war.

Die Voraussetzungen für das Laserscanning waren im Obergeschoss fast ideal, denn die gesamte Etage war leergeräumt, bis auf ein paar ausgehängte Türen. Hinzu kam, dass sich auf der Straßenseite Abstützungen (Abb. 2.4) als Bausicherung in den Räumen befanden, die teilweise vor den Fenstern standen und so leichte Messschatten verursachten. Für eine Kontrolle wurde die Etage ebenfalls mit dem Handaufmaß erfasst. Innerhalb eines Raumes wurden bei der Messung der Raumhöhe mit dem Disto Unterschiede

von mehreren Zentimetern bemerkt, die vermuten ließen, dass die Decken einen teils beträchtlichen Durchhang aufweisen.

Für die Laserscanmessung stand fest, dass sich diese aufgrund der Größe des Gebäudes und der Anzahl der Räume über mehrere Tage erstrecken würde. Damit stellte sich die Frage, wie die Kugelpasspunkte über diesen Zeitraum am besten aufgestellt und markiert werden könnten. Aufgrund des Leerstandes bot sich als Lösung an, die Kugeln auf dem Boden zu platzieren und ihre Position mit kleinen Zielzeichen zu markieren, wie in Abbildung 5.2 zu sehen ist. Dadurch konnten sie am Ende eines Tages entfernt werden und am folgenden Messtag an gleicher Stelle wieder aufgestellt werden.
Eine konkrete Planung von Scannerstandpunkten ist im Voraus nicht sinnvoll und ebenso wenig praktikabel. Um auf die Örtlichkeit zu reagieren, werden die Standpunkte vor Ort individuell ausgewählt.

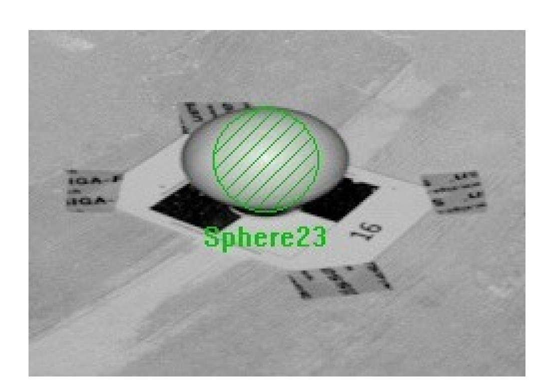


Abb. 5.2: Kugel als Passpunkt beim Laserscanning

Da zunächst die Situation der Stromversorgung nicht geklärt werden konnte, musste eine Lösung gesucht werden, da feststand, dass die Akkulaufzeit keinen Arbeitstag überbrückt. Diese fand sich mit der Verwendung eines Notstromaggregats, welches aber letztendlich nicht zum Einsatz kam, da es im Gebäude noch einige wenige funktionstüchtige Steckdosen mit anliegendem Strom gab.

Bei den Fassaden war nur der Nordwestgiebel, aufgrund der Bebauung und dem Bewuchs nicht richtig zugänglich und die Standpunktwahl somit auf die Giebelecken begrenzt.

Für eine Transformation der Scandaten in das Gauß-Krüger-Koordinatensystem müssen die Koordinaten der Passpunkte in diesem System bestimmt werden. Daher wurden an

der Südwestfassade und im Hofraum des Gebäudes die Passpunkte zusätzlich im Gauß-Krüger-System bestimmt. Dazu wurde zunächst von den Mitarbeitern des Büros ein Punktnetz um das Messobjekt angelegt und die Punkte mithilfe der Satellitenvermessung im Gauß-Krüger-System bestimmt. Anschließend wurden dann die angebrachten Passpunkte im Außenbereich mittels Tachymetrie in diesem System bestimmt. Im Büro erfolgte dann die Auswertung und somit die Bereitstellung der Punktkoordinaten für das terrestrische Laserscanning.
Da das terrestrische Laserscanning und insbesondere die Auswertung der Scandaten Hauptbestandteil dieser Arbeit ist, wird für eine genauere Vorgehensweise bei der Punktbestimmung dieser Stelle auf die Fachliteratur verwiesen.

5.2 Laserscanning mit dem FARO Photon

Angefangen wurde mit der Messung im Obergeschoss. Dafür wurden zunächst die Zielzeichen angebracht und die Kugeln platziert. Bei den Zielzeichen handelte es sich um schwarz/weiß Zielmarken, die in den Größen A4 und A3 an die Wände geklebt wurden. Bei den Zielzeichen für die Kugelstandpunkte auf dem Boden wurden im Format A5 schwarz/weiß Marken zusätzlich mit einem Kreis in der Mitte versehen. Bei den eingesetzten Kugeln handelte es sich neben den FARO Kugeln mit Magnetfuß um Styroporkugeln mit einem Durchmesser von 12 cm.

Bei der Auswahl der Passpunktpositionen müssen die folgenden Scannerstandpunkte bereits mit einkalkuliert werden, damit die Scans später zu einem Projekt verknüpft werden können.

Die Ausrüstung für das Laserscanning besteht aus:

- Scannerkoffer (FARO Photon 120, Daten- und Stromkabel, Lasersicherheitsschlüssel)
- Stativ (mit Versteifungen und einem höhenverstellbaren Stativteller)
- Laptop mit FARO Record zur Steuerung des Scanners
- Kameraschlitten und Kamera (Nikon D200/300) für die Farboption
- Stromversorgung (Akku, Verteiler, Verlängerungskabel, Notstromaggregat)
- Referenzobjekte (Zielmarken, Kugeln)

- als Befestigungsmaterial für die Zielzeichen Klebeband
- Trittleiter, um die Zielzeichen in unterschiedlichen Höhen anzubringen
- Lichtstrahler, im Dachgeschoss für die Farboption

Beim Scannen im Inneren eines Gebäudes gibt es einige Einschränkungen aufgrund der Geometrie. So ist z.B. zu bedenken, dass der Öffnungswinkel des Sichtbereiches durch eine Türöffnung verkleinert wird. Dies hat wiederum Auswirkungen auf die Position der Passpunkte, die nur innerhalb des Sichtfeldes verteilt werden können. Genauso wie bei der freien Stationierung in der Tachymetrie müssen die Passpunkte geometrisch gut verteilt sein. Für die Praxis beim Laserscanning bedeutet es, dass die Passpunkte am Horizont gut verteilt werden müssen und in der Höhe variieren sollten. Eine Missachtung dieser Prinzipien kann in der Auswertung dazu führen, dass Stationierungen nicht berechnet werden können. Deshalb sollte besonders sorgfältig gearbeitet und an dieser Stelle lieber etwas mehr Zeit investiert werden.
Die Abbildungen 5.3 bis 5.5 zeigen eine genaue Übersicht der Scannerstandpunkte im Erd-, Ober- und Dachgeschoss.
Im Innenbereich wurde das Gerät mit Strom betrieben, da im Obergeschoss eine funktionsfähige Steckdose gefunden wurde.

Mit dem Laserscanning wurde im großen Raum des Obergeschosses am Südostgiebel begonnen. Dafür wurde das Stativ fest aufgestellt und anschließend der Scanner darauf gesetzt. Im Anschluss erfolgte eine Grobhorizontierung über die Dosenlibelle des Dreifußes. Diese ist ausreichend, da der Scanner einen Neigungssensor[22] besitzt, der laut Hersteller einen Messbereich von ±15° abdeckt und somit auch Schrägstellungen zulässt. Die Werte des Sensors werden intern mit abgespeichert und können bei der Auswertung wahlweise mit einfließen.

---

[22] **Neigungssensor:** Genauigkeit 0.02°; Auflösung 0.001°; Messbereich ± 15°
[http://laser-scanner.faro.com/de/features/]

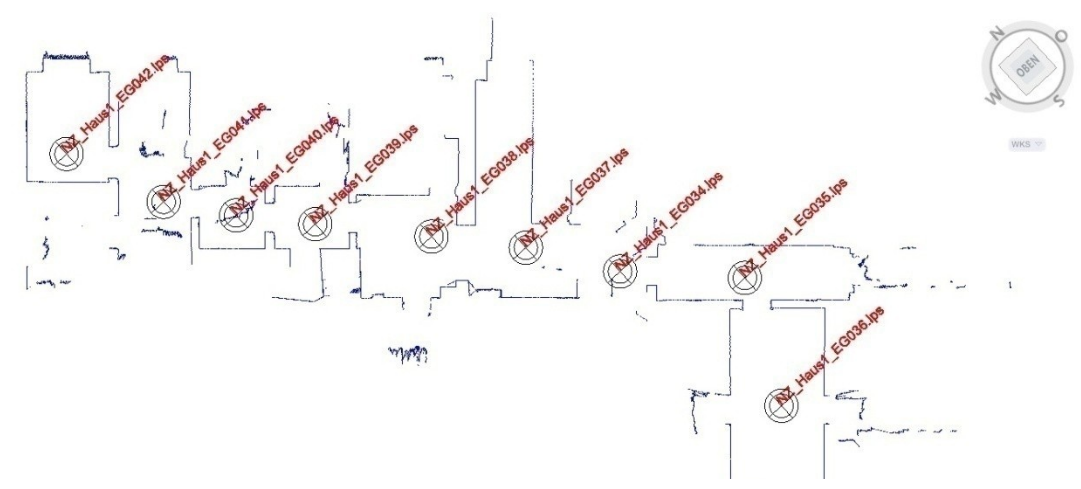


Abb. 5.3: Scannerstandpunkte im Erdgeschoss

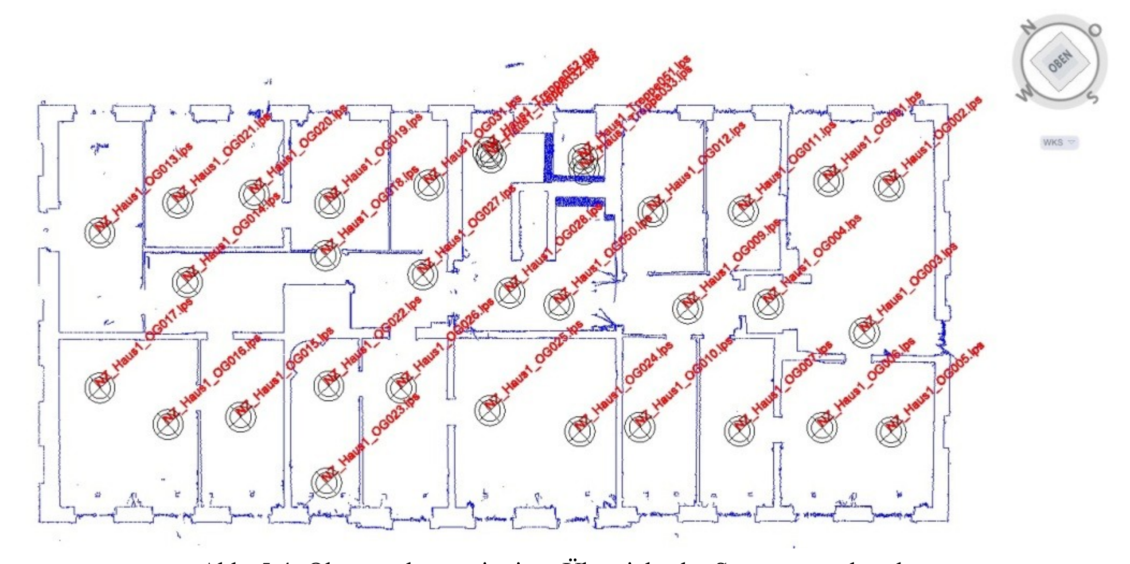


Abb. 5.4: Obergeschoss mit einer Übersicht der Scannerstandpunkte

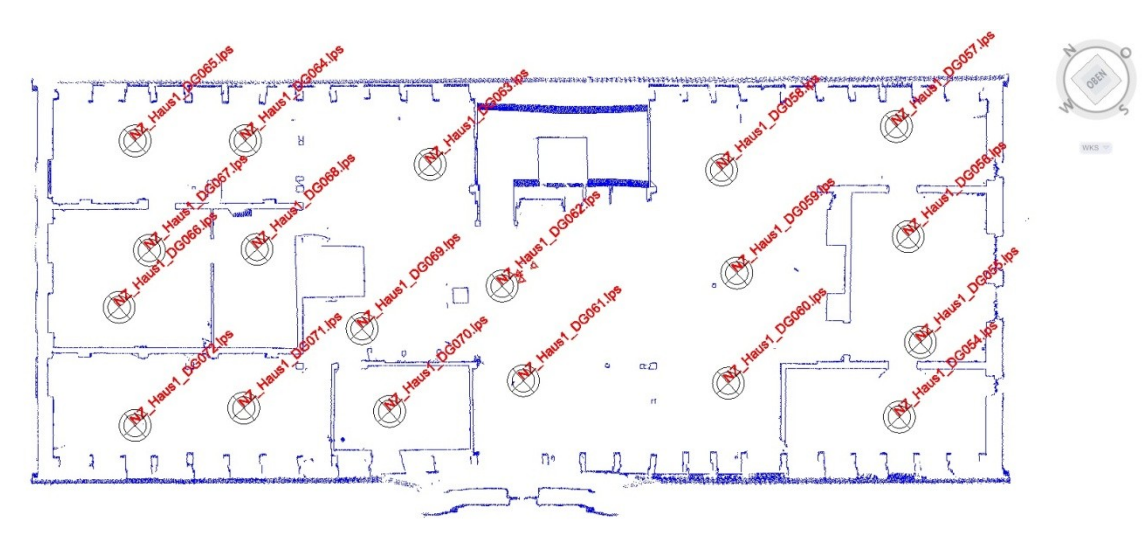


Abb. 5.5: Scannerstandpunkte im Dachgeschoss

Für die Farboption wird auf dem Scanner der Kameraschlitten befestigt und die Kamera darin fixiert. Der Hersteller gibt das Kameramodell und das Objektiv vor. Dabei kann für die digitale Kamera zwischen den Modellen D200 und D300 von Nikon gewählt werden. Verwendet werden muss die Kamera dann laut Hersteller mit einem Fischaugenobjektiv, welches Linien, die nicht durch den Bildmittelpunkt verlaufen gekrümmt darstellt und somit eine starke tonnenförmige Verzeichnung besitzt.

Der Scanner wird über das Daten- und Stromkabel mit der Anschlusseinheit, über das Ethernet-Kabel mit dem Laptop und durch ein USB-Kabel mit der Kamera verbunden. Ist der Bedien-PC gestartet, wird der FARO Photon angeschaltet. Während der interne PC lädt und die Parameter der Module prüft, blinken die Kontrollleuchten am Scanner grün. Der Scanner ist betriebsbereit wenn die LED-Lämpchen dauerhaft grün leuchten. Wie schon zuvor erwähnt wird zum An- und Ausschalten des Lasersensors der Lasersicherheitsschlüssel benötigt, aufgrund der Sicherheitsbestimmungen, die durch die Klassifizierung des Lasers erforderlich sind.
Die Steuerung und Einstellung der Scanparameter erfolgt ab diesem Zeitpunkt über die Software FARO Record des Bedien-PC, wie schon in Kapitel 4 ausführlich beschrieben.

Für den Innenbereich wurde eine Auflösung von 1/5 und ein X-Control Wert von 4x122 gewählt. Dies entspricht einer Messrate von 122 000 Punkten pro Sekunde. Tabelle 4.3 ist zu entnehmen, dass für diese Einstellung eine Nettoscanzeit von 4min22 veranschlagt ist.
Die Verwendung der Farboption erforderte ein paar zusätzliche Einstellungen. So erfolgte zunächst der normale schwarz/weiß Scan, wozu der Stativteller um mindestens 20cm nach oben gekurbelt werden muss (Abb. 5.5). Ist der Scan beendet, wird der Scanner wieder nach unten gekurbelt und der Kameraschlitten wird in die Mitte geschoben. Dadurch ist die Kamera horizontal und vertikal mit der Spiegelachse ausgerichtet, wie Abbildung 5.6 zeigt. Die Kamera wird dann über den Bedien-PC gestartet und der Scanner dreht sich um 180° und macht ein Testbild zur Überprüfung der Kameraeinstellungen. Sind diese korrekt dreht er sich um weitere 180° um die richtigen Belichtungseinstellungen zu berechnen. Danach dreht sich der Scanner zurück in die Ausgangsposition, hält dabei zwischendurch aber für die Aufnahme der Bilder an. Pro Standpunkt wurden vom Scanner 10 Bilder aufgenommen, die nicht auf der Kamera

gespeichert werden, sondern direkt in der Scandatei. Dadurch vergrößert sich diese um etwa 100 MB. Der Einsatz der Farboption dauert nochmal ungefähr 2 bis 3 min.





Abb. 5.6: Links: Kamera in Warteposition; Rechts: Kamera zur Aufnahme [3]

Im Anschluss wird die Scandatei vom Scanner auf den Bedien-PC heruntergeladen und um zu kontrollieren ob alles aufgenommen und die Bilder abgespeichert wurden, wurde der Scan in FARO Scene importiert und geöffnet.

Das Scannen im Außenbereich unterscheidet sich nur unwesentlich. Allerdings bestand hier eine Abhängigkeit vom Wetter und dem öffentlichen Verkehrsfluss. Zudem musste bei der Verteilung der Passpunkte und insbesondere bei den Kugeln darauf geachtet werden, dass sie vom Scannerstandpunkt nicht mehr als 15m entfernt waren. Bei größeren Entfernungen werden die Kugeln nämlich aufgrund ihrer Größe (r=7 cm) sehr schlecht oder gar nicht von der Software erkannt und sind somit nicht verwendungsfähig und fehlen für die Stationierung.
Aufgrund mangelnder Erfahrungswerte wurde die Südwestfassade zunächst mit einer Auflösung von 1/4 und einer Messrate von 122 000 Punkten pro Sekunde von der gegenüberliegenden Straßenseite (ca. 20 bis 25 m) aus aufgenommen. Während dies für die Erstellung von Grundrissen und Schnitten völlig ausreichend ist, kann eine Fassadenansicht mit einem hohen Detaillevel kaum dargestellt werden. Deshalb mussten die Fassaden ein zweites Mal gescannt werden.
Die zweite Messung erfolgte mit einer Auflösung von 1/2 und einer Messrate von 488 000 Punkten pro Sekunde. Außerdem wurden die Standpunkte diesmal mit einem geringeren Abstand direkt vor der Fassade gewählt, so dass der Scanner maximal 6 m von der Fassade entfernt war. Durch diese Wahl der Standpunkte war eine Erfassung

der Dachfläche nicht mehr möglich. Außerdem vergrößerten sich aufgrund des Auftreffwinkels im oberen Bereich der Fassade die Messschatten, so dass zum Beispiel das runde Fenster der Fassade nur zur Hälfte erfasst wurde.
Für das Scannen der Fassaden wurde die Farboption eingesetzt, womit eine Scandatei eine durchschnittliche Größe von 700 MB besitzt.

Tabelle 5.1: Anzahl der Scans, Datenmenge des Scanprojekts

Beschreibung	**Anzahl der Scans**	**Datenmenge**	**durchschnittliche Scandateigröße**
Fassade: (Auflösung 1/4) Auflösung 1/2	 (9) 15	 (ca. 2,3 GB) ca. 10,4 GB	 (275 MB) 700 MB
Erdgeschoss mit Treppenhaus	11	ca. 2,1 GB	195 MB
Obergeschoss mit Treppenhaus	31	ca. 5,7 GB	195 MB
Dachgeschoss	19	ca. 3,7 GB	195 MB
Gesamt	**(85)** **76**	**(ca. 24 GB)** **ca. 22 GB**	---

Der komplette Innen- und Außenbereich wurde innerhalb von 10 Arbeitstagen mit insgesamt 76 Scans erfasst. Tabelle 5.1 zeigt die Verteilung der Scans auf die einzelnen Etagen und den damit verbundenen Datenmengen.
Mit Auf- und Abbau, Scannen mit Farboption und Übertragen der Datei wurde für einen Standpunkt im Innenbereich mit einer Dauer von etwa 20 min gerechnet werden. Pro vollen Arbeitstag wurden so etwa 13 Standpunkte geschafft und der Innenbereich schließlich innerhalb von 6 Arbeitstagen erfasst.
Für die Aufnahme der Fassaden ergab sich für einen Standpunkt eine Dauer von etwa 35 min. Effektiv erfolgte die Aufnahme des Außenbereichs beim ersten Mal an einem Arbeitstag und beim zweiten Mal an 2 Arbeitstagen.

Da das Umsetzten des Gerätes auf einen neuen Standpunkt immer mit dem Auf- und Abbau verbunden ist, geht an dieser Stelle wertvolle Arbeitszeit verloren. Überlegungen führten zu dem Ergebnis eine Art Messwagen zu benutzen, also das Stativ samt Gerät auf einem fahrbaren Wagen zu montieren. Beachtet werden musste dabei, dass es auch transportabel ist. Ausprobiert und umgesetzt wurde diese Idee beim Scannen des ande-

ren Gebäudes, wodurch bei gleicher Auflösungseinstellung die Anzahl der am Tag durchgeführten Scans fast verdoppelt wurde.
Hinzu kam auch, dass die Kugeln auf Fotostativen montiert und somit in unterschiedlichen Höhen platziert werden konnten.

Zum Schluss des Kapitels zur Veranschaulichung das Ergebnis eines Scans in der flächenhaften Ansicht. Es handelt sich dabei um einen Scan aus dem Dachgeschoss des Gebäudes (Abb. 5.7). Die restlichen Daten befinden sich auf dem Datenträger im Anhang.

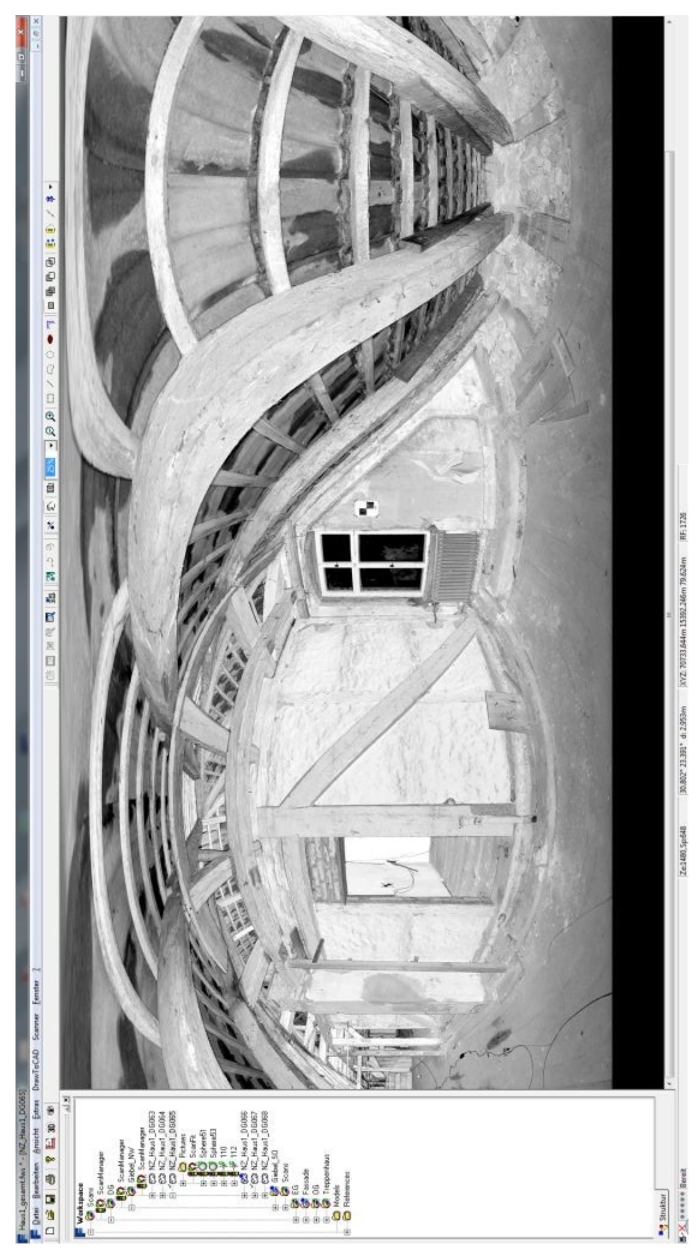


Abb. 5.7: Flächenhafte Ansicht eines Scans vom Dachgeschoss in FARO Scene

6 Auswertung der Scandaten

Für die Auswertung und die Erstellung der Unterlagen wurden verschiedene Softwareprogramme verwendet. Zunächst wurden die Aufgaben mit FARO Scene und PointCloud bearbeitet, aber gerade bei der Erstellung der Schnitte und Fassadenansichten zeigten sich Schwierigkeiten. Die Ergebnisse waren nicht zufriedenstellend, so dass nach einer Lösung gesucht werden musste. Diese fand sich mit der Software LupoScan.

Nach einem Wechsel der Hardware stand für die Bearbeitung letztendlich ein Computer mit den in Abbildung 6.1 aufgeführten Eigenschaften zur Verfügung. Bei dem installierten Betriebssystem handelt es sich um die 64-bit Version. Alle Aussagen beziehen sich deshalb auf diese Rechner/Software Kombination.

Komponente	Details	Teilbewertung	Gesamtbewertung
Prozessor	Intel(R) Core(TM) i7 CPU 860 @ 2.80GHz	7,5	6,2
Arbeitsspeicher (RAM)	16,0 GB	7,5	
Grafik	NVIDIA GeForce GTX 285	7,4	
Grafik (Spiele)	4095 MB insgesamt verfügbarer Grafikspeicher	7,4	Ergibt sich aus der niedrigsten Teilbewertung
Primäre Festplatte	516GB frei (923GB gesamt)	6,2	
Windows 7 Professional			

Abb. 6.1: Systemeigenschaften des verwendeten Computers

Die Aufgabe bestand in der Anfertigung von 2D-Bestandsplänen in Form von Grundrissen, Gebäudeschnitten und Fassadenansichten. Für den Auftraggeber wurden für das gesamte Projekt, pro Gebäude 12 Zeichnungen angefertigt, darunter die Grundrisse, Schnitte und Fassadenansichten. Hinzu kam noch auf Anfrage ein Profilschnitt in der Mitte der Südwestfassade der ehemaligen Polizeiinspektion.

Zur Bearbeitung haben sich die im Folgenden aufgeführten Arbeitsschritte herauskristallisiert, die in diesem Kapitel erörtert werden.

- mit ***FARO Scene***:
    - Verknüpfung der einzelnen Scans zu einem Gesamtprojekt
    - Einfärben von Scans und hier speziell die Fassadenscans
    - Export von Schichten im *.ptc – Format

- mit ***LupoScan***:
  - Konvertierung und Import der referenzierten Scandateien
  - Erstellen von Schnitten und Export im *.ptc Format
  - Erstellen von Orthofotos und Export über die AutoCad-Schnittstelle
- ***AutoCad 2010 mit PointCloud***:
  - Erstellen der Grundrisse, Schnitte und Fassadenansichten

Im Anhang sind Beispiele der Ergebnisse in Papierform zu finden. Die restlichen Zeichnungen sowie die Scandaten sind in digitaler Form auf dem Datenträger vorhanden.

6.1 Die Bearbeitung in FARO Scene

Wie schon zuvor erwähnt, werden die Scans über den Import in den Arbeitsbereich eingefügt. Bei einer großen Anzahl von Scandateien über mehrere Etagen ist es sinnvoll diese zu *Clustern* (Haufen) zusammenzufassen. So werden beispielsweise für die Etagen Unterordner angelegt und die dazugehörigen Scandateien dorthin verschoben.
Abbildung 6.2 zeigt einen Ausschnitt der endgültigen Aufteilung für die Scandateien des Gebäudes und lässt das Prinzip erkennen. Für das Gebäude erwies sich diese Gliederung der Scans als zweckmäßig, weil die Anzahl der aufgenommen Scans relativ hoch ist.
Zu Beginn wurden nur die Scans der Etagen, wie beispielsweise das Obergeschoss in einem Ordner zusammengefasst. Eine Berechnung der Stationierung verlief aber nicht wie erhofft. Daraufhin wurde begonnen die Scans noch weiter zusammenzufassen. So erfolgte die Zuteilung zu den entsprechenden Flurseiten Nordwest und Südost. Aber auch hier waren noch einzelne Scans nicht richtig stationiert oder Scans die zuvor richtig stationiert waren, passten nun nicht mehr. Deshalb erfolgte, unter Beachtung der Passpunkte und der Stationierungsergebnisse, so lange eine Verschiebung in den Ordnern, bis ein vernünftiges Ergebnis im Rahmen der Grenzwerte erreicht wurde. Während sich im Dachgeschoss eine Gliederung aufgrund der Räume an den Giebelseiten anbot, war im Erdgeschoss eine Aufteilung nicht weiter notwendig.
Wird der Arbeitsbereich das erste Mal abgespeichert, wird an dem Speicherort der Datei (.fws) ein Unterordner *Scans* erstellt, in dem alle Scandateien gespeichert werden. Da in

diesem Arbeitsbereich sämtliche Scandateien des Gebäudes importiert wurden, dauerte die Projektspeicherung fast 90 Minuten. Eine Alternative zu dieser Vorgehensweise ist die Bearbeitung der einzelnen Stockwerke in separaten Arbeitsbereichen und die anschließende Zusammenführung in einem Arbeitsbereich. Dafür wird ein neuer Arbeitsbereich geöffnet und die anderen werden importiert. Die Entscheidung bleibt letztendlich jedem Bearbeiter selbst überlassen, da es keine Rolle spielt, weil beide Vorgehensweisen zum gleichen Ergebnis führen.

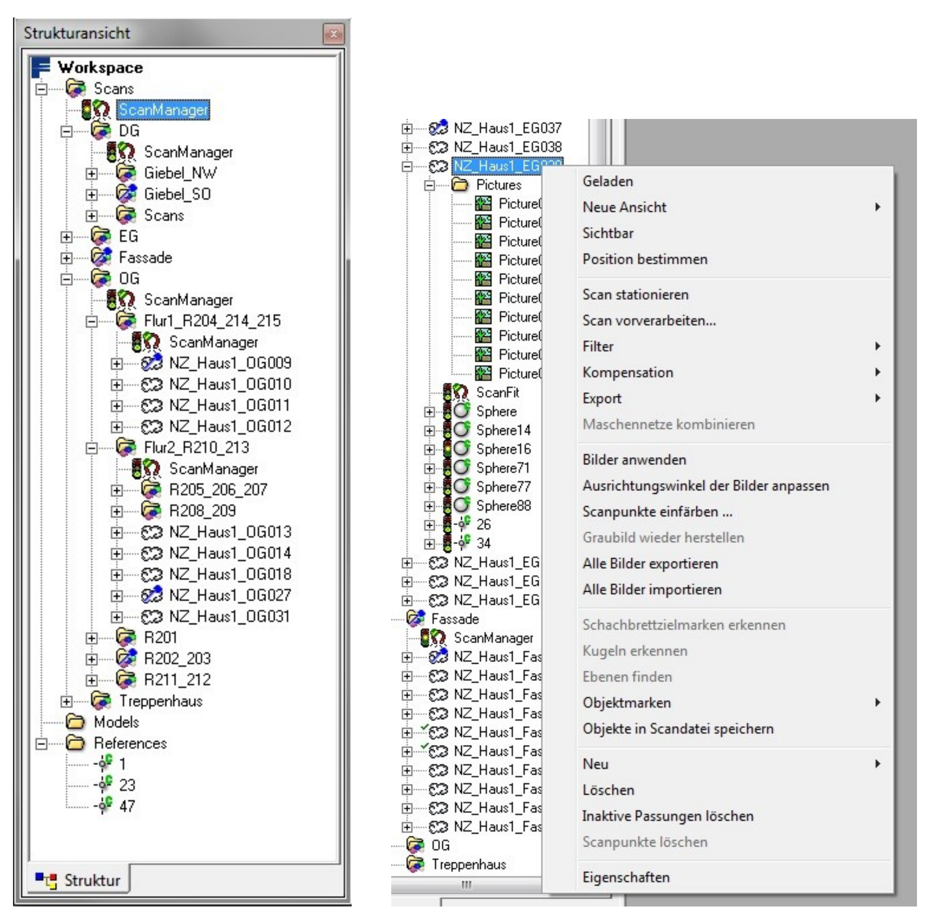


Abb. 6.2: Links: Arbeitsbereich des Gebäudes in FARO Scene; Rechts: Kontextmenü eines Scans

Über das Kontextmenü (Abb. 6.2) können alle Funktionen, die einen Scan betreffen, abgerufen werden. Funktionen, die vorübergehend nicht ausgeführt werden können, sind grau hinterlegt.

Ein Arbeiten ist nur in Scans möglich, die *Geladen* sind. Ob dies für einen Scan im Arbeitsbereich zutrifft, erkennt der Benutzer an einem grünen Häkchen vor dem Wolkensymbol des Scans.

Um eine Aussage über die Qualität der einzelnen Ergebnisse zu treffen, verwendet das Programm ein Ampelsystem, das helfen soll, eventuelle Widersprüche zu erkennen. Dabei signalisiert eine rote Ampel, dass die Grenzwerte überschritten wurden und eine grüne Ampel, dass die Ergebnisse unter den Grenzwerten liegen. Die gelbe Ampel erscheint im Zwischenbereich. Die Schranken sind programmintern festgelegt und können nicht verändert werden. Der Anwender sollte daher immer die goldene Regel *„So genau wie nötig, nicht so genau wie möglich!“* im Hinterkopf haben.

6.1.1 Stationierung der Scans

Jeder Scan besitzt ein lokales, rechtwinkliges Koordinatensystem dessen Ursprung im Schnittpunkt der Kipp- und Stehachse des Scanners liegt. Um nun die Koordinaten eines Scans im Koordinatensystem eines anderen darzustellen, erfolgt eine Transformation. Dabei wird ein Koordinatensystem so verschoben und um die einzelnen Koordinatenachsen gedreht bis es mit dem Zweiten identisch ist. Diese Berechnung wird als Verknüpfung von Scans verstanden. Welche Transformation das Programm zur Berechnung benutzt, konnte nicht in Erfahrung gebracht werden.

Voraussetzung für die Verknüpfung ist, dass mindestens drei Passpunkte in einem Referenzsystem und dem zu stationierendem Scan vorhanden sind. Als Referenzsystem kann dabei ein zweiter Scan dienen, der im Arbeitsbereich dann durch einen blauen Schlüssel über der Punktwolke gekennzeichnet ist. Ratsam ist die Wahl von mehr als drei Passpunkten. Je nachdem wie das Ergebnis der Transformation ausgefallen ist, können dann bei einer erneuten Berechnung Punkte weggelassen oder hinzugefügt werden.

Damit die Stationierung der Scans berechnet werden kann, müssen in den einzelnen Scans die Passpunkte identifiziert werden. Dazu wird der Scan in der flächenhaften Ansicht geöffnet.

Beim ersten Öffnen eines Scans werden einige Standardfilter angewandt. Dies ist notwendig, weil eine gewisse Anzahl von fehlerhaften Scanpunkten vorhanden ist. Um die ungenauen Scanpunkte zu korrigieren oder zu entfernen, werden deshalb Filter eingesetzt. Zu diesen zählt der Filter für vereinzelte Scanpunkte, mit dem die isolierten Scanpunkte entfernt werden. Im Außenbereich ist dies vor allem am Himmel der Fall.

Im Scan in Abbildung 5.7 ist rechts neben dem Fenster eine schwarz/weiß Zielmarke zu erkennen, die als Passpunkt für die Stationierung verwendet wird. Über das Kontextmenü in der flächenhaften Ansicht wird die automatische Zielmarkenerkennung gestartet. Daraufhin sucht das Programm den Scan nach den Kontrasten der schwarz/weiß Zielmarke ab und vergibt einen automatischen Namen für den Punkt. Im Arbeitsbereich werden sie mit dem Basisnamen *Point3d*, einer fortlaufenden Nummer und einem Punktsymbol aufgeführt. Der Punktname kann vom Benutzer geändert werden, wenn beispielsweise die Zielmarken schon nummeriert sind.

Ähnlich sucht das Programm den Scan nach Kugeln ab, die ebenso als Passpunkte verwendet werden. Dafür wird im Programm der Radius für die Kugelpassung über die Optionen eingestellt. Danach folgt eine automatische Erkennung und Bezeichnung der Kugeln mit dem Basisnamen *Sphere* (Abb. 6.2).

Kugeln besitzen gegenüber den Zielzeichen einen Vorteil, der in ihrer geometrischen Form begründet ist. Der Mittelpunkt einer Kugel ist durch den Radius fest definiert und egal von welcher Position im Raum gemessen wird, das Ergebnis der Kugelpassung wird sich kaum unterscheiden. Die Messung zu den Zielzeichen sollte dagegen mit einem Auftreffwinkel von über 45° erfolgen, weil ein erkennen ansonsten schwierig wird..

Die Automation für den gesamten Scan ist nicht sinnvoll, wenn unterschiedlich große Kugeln verwendet werden. Da empfiehlt es sich den betreffenden Bereich mit den Passpunkten zu markieren und dann mit dem entsprechenden Radius der Kugel die Kennung durchlaufen zu lassen.

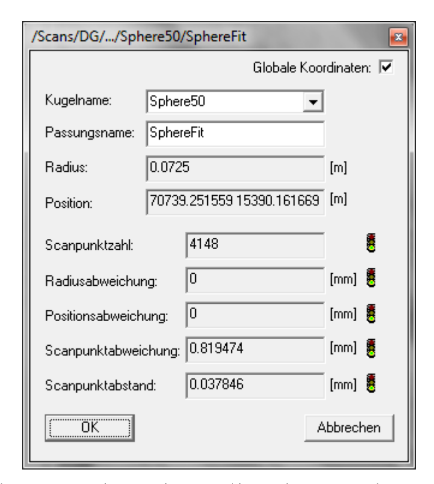


Abb. 6.3: SphereFit Qualität der Kugelpassung

Mit ***SphereFit*** wird sich die Qualität der Kugelpassung angesehen. Wie Abbildung 6.3 zeigt, werden darin neben der Position und dem Radius auch die Standardabweichungen für den Radius, die Position und die Scanpunkte sowie der durchschnittliche Abstand der Scanpunkte von der ermittelten Kugeloberfläche angegeben. Die Ampel neben den Werten signalisiert, wie bereits aufgeführt, die Qualität. Die Grenzwerte für die Kugelpassung sind in Tabelle 6.1 zusammengestellt.

Bevor die Stationierung berechnet wird, sollte der Anwender noch einmal überprüfen ob die identischen Passpunkte den gleichen Namen tragen. Ansonsten kann es zu falschen Stationierungen der Scans kommen. Über die automatische Korrespondenzsuche erfolgt die Erkennung identischer Passpunkte. Durch ungünstige Konstellationen kann aber eine falsche Zuweisung erfolgen, so dass eine Überprüfung stets erfolgen muss.

Die Stationierung der Scans wird über das Kontextmenü des in der Hierarchie ganz oben stehenden Ordners gestartet. Das Programm beginnt dann die Berechnung von innen nach außen.
Am Beispiel vom Dachgeschoss in diesem Arbeitsbereich (Abb. 6.2) bedeutet es, dass zuerst die Scans in den Unterordnern in ein einheitliches Koordinatensystem überführt werden. Dafür wird ein Scan als Referenzscan festgelegt. Für jeden Unterordner im Dachgeschoss entsteht ein eigenes Koordinatensystem. Im nächsten Berechnungsschritt wird ein Unterordner als Referenz bestimmt und als Ergebnis liegen alle Scans im einheitlichen Koordinatensystem des Dachgeschosses.

Tabelle 6.1: Übersicht über Grenzwerte im Programm für die Kugelpassung und die Stationierung

	Grün	Rot	Beschreibung
SphereFit:			
Radiusabweichung	< 1 mm	> 4 mm	σ[23] des Radius
Positionsabweichung	< 15 mm	> 80 mm	σ der Position des Kugelmittelpunkts
Scanpunktabweichung	< 4 mm	> 20 mm	σ für den Abstand zur Kugeloberfläche
Scanpunktabstand	< 1 mm	> 5 mm	Durchschnittliche Abstand zur Kugeloberfläche

[23] Standardabweichung: $\sigma = \sqrt{\frac{[\varepsilon\varepsilon]}{n}}; \quad n \to \infty$

ScanFit:			
Punktabweichung	< 10 mm	> 20 mm	σ für den Abstand zw. Passpunkten
Punktabstand	< 1 mm	> 5 mm	Mittelwert der Abweichung
Distanzabweichung	< 10 mm	> 20 mm	σ für die Strecke
Winkelabweichung	< 0,08°	> 0,17°	σ des Winkels
Orthogonale Abweichung	< 15 mm	> 80 mm	σ für die Winkelwerte als Abstand
Abweichung bezgl. Neigungssensor	< 1°	> 5°	Unterschied zwischen berechnetem und gemessenem Wert

Diese Berechnung wird vom Programm automatisch so lange fortgeführt, bis sämtliche Unterordner und Scans in einem einheitlichen Koordinatensystem liegen.

Am Ende der Stationierungsberechnung wird der *ScanManager* geöffnet und gibt einen Überblick über den Stand und die Qualität der Stationierungen an. Hat es Probleme mit der Stationierung gegeben, hilft der Scanmanager bei der Identifizierung von schlechten Referenzpaaren. Dazu werden die Spannungen des in Abbildung 6.3 gezeigten Reiters *Referenzspannungen* begutachtet. Dabei weisen große Werte auf eventuelle Probleme hin.

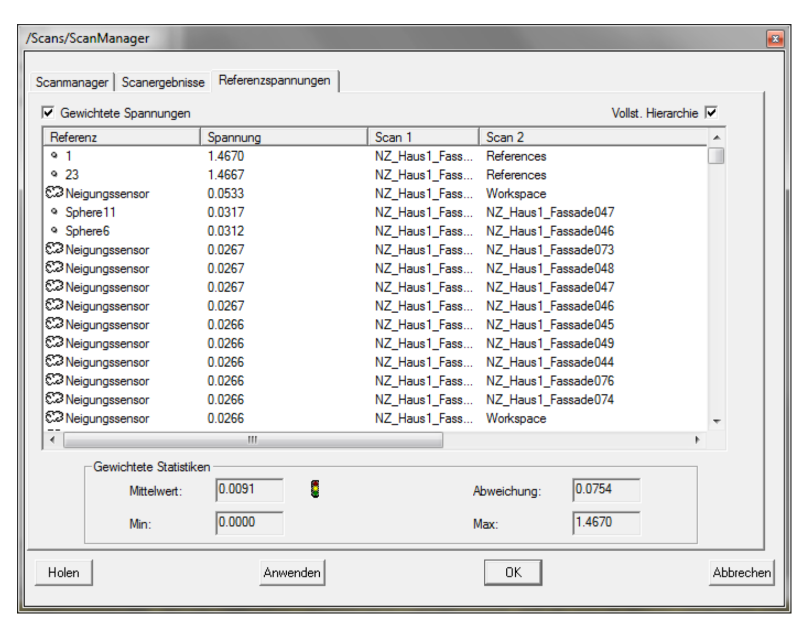


Abb. 6.4: Referenzspannungen im ScanManager

Um dem Nachzugehen werden die Stationierungen der betroffenen Scans untersucht. Die Stationierungsergebnisse werden im Dialog *ScanFit* zusammengetragen (Abb. 6.5) (Tab.6.1). In der Spannungstabelle wird die Differenz der Referenzpunkte in den Scans

angegeben, die bei guten Stationierungen sehr klein sein muss. Für das Objekt Nr. 92 (Abb. 6.5) bedeutet es, dass die berechnete Position aus den Scans um 9,6 mm voneinander abweicht.

ScanFit und die Spannungstabelle helfen dem Anwender dabei die betreffenden Referenzpaare zu finden und kritisch zu betrachten. Diese Referenzpunkte können dann für eine Neuberechnung von der Stationierung ausgeschlossen werden.

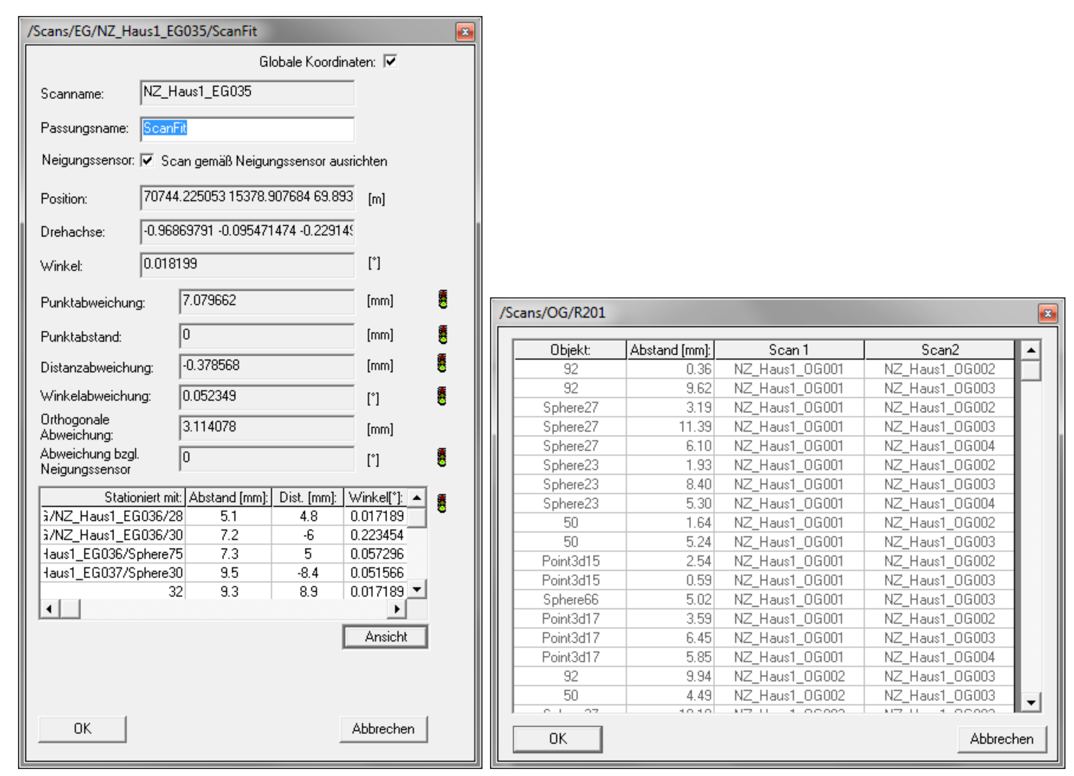


Abb. 6.5: Links: ScanFit zeigt die Qualität der Stationierung; Rechts: Spannungstabelle der Referenzobjekte

Die Messwerte des Neigungssensors des FARO Photon werden mit abgespeichert und können für die Stationierung mit verwendet werden. Diese Einstellung muss dem Programm extra zugewiesen werden. Im diesem Projekt wurde dies so gehandhabt, weil es eine zusätzliche Referenz darstellt. Es gibt aber auch Ausnahmen, wo erst das Ausschalten dieser Funktion zu einem Ergebnis führt.

So konnten in einem Bereich alle Scans bis auf einen verknüpft werden. Alle möglichen Varianten wurden durchprobiert und erst das Weglassen der Neigungssensorwerte brachte ein passendes Ergebnis.

Zum Schluss erfolgte die Transformation des Projektes in das Gauß-Krüger-Koordinatensystem. Die Koordinaten der Passpunkte wurden um das Kilometerquadrat gekürzt. Dieser Schritt war notwendig, da im Verlauf der Bearbeitung Probleme mit den siebenstelligen Koordinaten in den verschiedenen Programmen auftraten.
Die Koordinaten der Referenzpunkte werden über eine .csv Datei in den Arbeitsbereich importiert und erscheinen dort im Ordner ***References***. Die Datei besteht aus den fünf Spalten Punktname, Rechtswert, Hochwert, Höhe und Güte der Messung und verwendet als Trennzeichen ein Leerzeichen.

Die Stationierungen wurden mehrfach berechnet um die bestmögliche Lösung zu erhalten. Die Abbildung 6.6 zeigt die räumliche Ansicht der Fassade von 9 Standpunkten und soll als Beispiel für die Scanverknüpfung dienen.

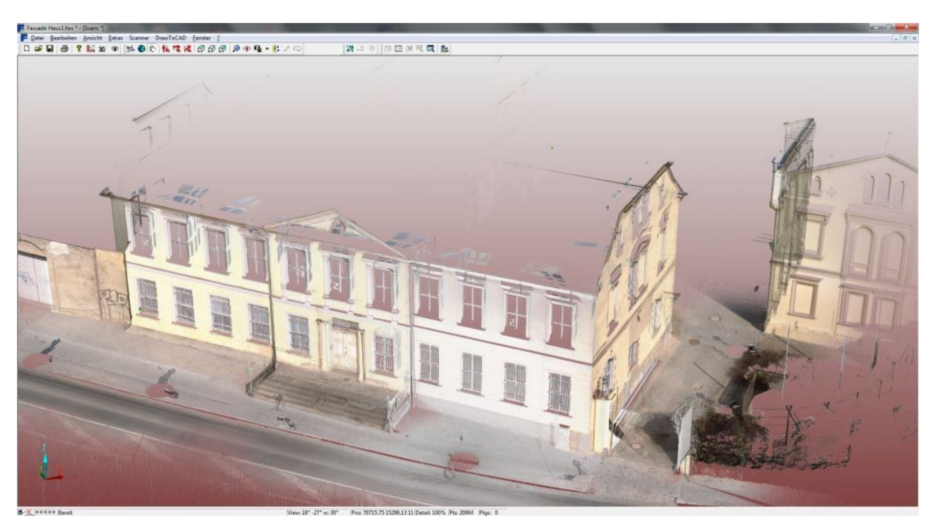


Abb. 6.6: Räumliche Ansicht von 9 Scans

6.1.2 Einfärben der Scans

Das Einfärben der Scans bedeutet, dass den einzelnen Scanpunkten Farbinformationen eines Bildes zugeordnet werden. Dazu bietet FARO Scene dem Anwender die Möglichkeit, seine Scans anhand von zusätzlichen eigenen Bildern oder mit scannergestützten Bildern einzufärben.
Bei der Variante mit den zusätzlichen Bildern kann der Benutzer mit seiner digitalen Kamera den Aufnahmebereich fotografieren und die Bilder werden dann für das Einfärben verwendet. Anhand von mindestens sechs Passpunktpaaren berechnet das Programm die Position, die Orientierung und den Zoomfaktor und ordnet anschließend den

Scanpunkten die Farbinformationen zu. Dabei erfolgt die Bestimmung der Passpunktpaare manuell durch den Anwender.

Wird beim Scannen die Farboption verwendet, werden die aufgenommenen Fotos im Scan abgespeichert und gelangen über den Import des Scans in den Arbeitsbereich. Dort befinden sie sich in einem Unterordner des Scans und können in FARO Scene geöffnet werden.
Die Kamera deckt nicht den gesamten vertikalen Bereich ab. Deshalb entstehen, je nach Kameraposition im Schlitten, oben oder unten Bereiche, die nicht mit eingefärbt werden. Um einen Eindruck zu erhalten zeigt Abbildung 6.7 das Ergebnis der Einfärbung anhand der Scannerbilder.

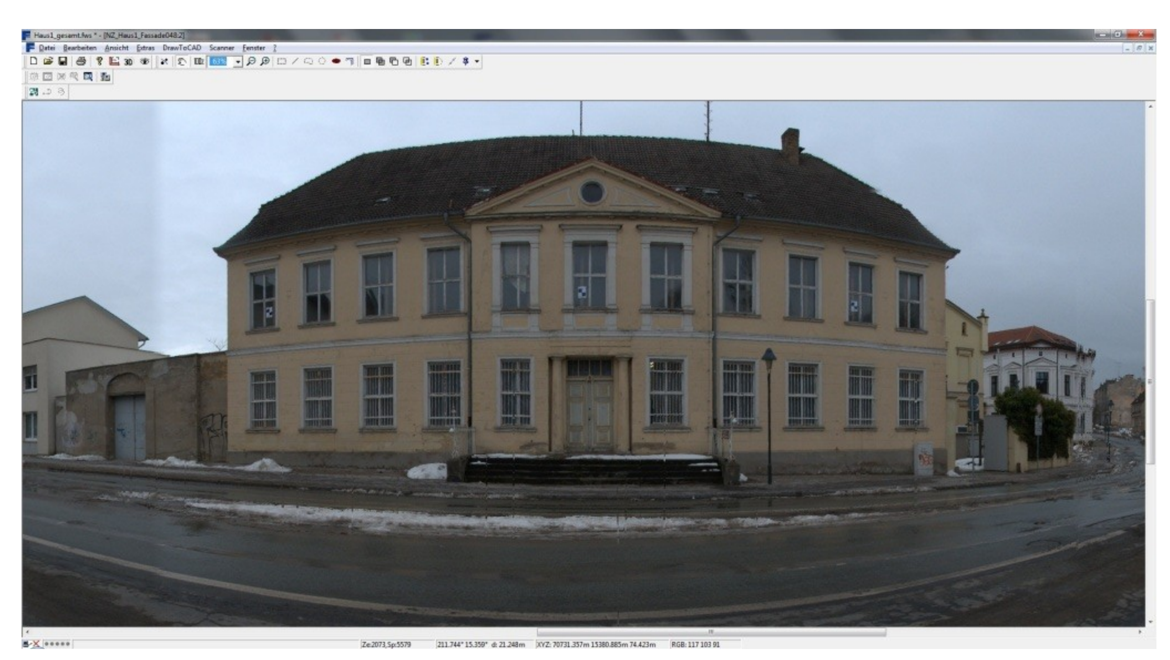


Abb. 6.7: Ausschnitt eines Farbscans in FARO Scene

Wird festgestellt, dass ein Bild z.B. zu dunkel oder zu hell ist, besteht die Möglichkeit das Bild mit einem Bildbearbeitungsprogramm zu korrigieren. Dazu wird das Bild oder der gesamte Bildordner im .jpg Format exportiert. Nach der Bearbeitung wird das Bild wieder importiert und muss den gleichen Namen aufweisen wie das entsprechende Bild im Ordner des Scans.
Sind die Bilder in Ordnung, kann über das Kontextmenü die Funktion *Bilder anwenden* gestartet werden und das Programm beginnt mit der Einfärbung der Scanpunkte.

Für das Projekt wurden die Fassaden eingefärbt. Für die Zeit des Einfärbens eines Scans, die rund 15 Minuten beträgt, ist das Programm blockiert und lässt somit ein Weiterarbeiten nicht zu. Dieser Arbeitsschritt kann zwar auch für alle Scans in einem Ordner gestartet werden, aber bei hochauflösenden Scans erfolgt aufgrund des begrenzten Arbeitsspeichers nach dem ersten eingefärbten Scan meist ein Abbruch.

Über das Optionsmenü kann eingestellt werden, ob ein Scan mit seinen Farb- oder Grauwerten dargestellt wird. Diese Einstellung muss vor dem Laden des Scans erfolgen, da die Einstellung sonst nicht wirkt. Ist der Scan in Farbe geladen und der Anwender möchte zum Graubild wechseln, so muss er zunächst die Einstellung in den Optionen ändern, den Scan entladen und im Anschluss wieder laden. Die im Kontextmenü vorhandene Funktion *Graubild wieder herstellen* entfernt die Farbinformationen, die den Scanpunkten zugeordnet wurden und so muss für einen Farbscan die ganze Prozedur wiederholt werden. Dies ist umständlich, zeitraubend und nicht gerade geeignet, um schnell zwischen Grau- und Farbbild zu wechseln.

6.1.3 Export im .ptc Format

Scanpunkte können aus FARO Scene in verschiedene Formate exportiert werden. Beim .ptc Format handelt es sich um das Scandatenformat, das von PointCloud verwendet wird.

Es kann der gesamte Scan oder eine Markierung exportiert werden. Außerdem besteht die Möglichkeit einen oder mehrere Schnitte in diesem Dateiformat zu speichern. Dies bietet sich an, wenn Grundrisse oder Profile erstellt werden sollen.

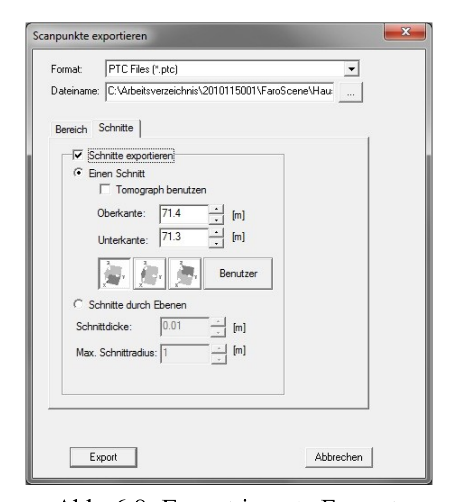


Abb. 6.8: Export im .ptc Format

Die Abbildung 6.8 zeigt, welche Einstellungen der Anwender für einen Export eines Schnittes festlegen muss. Dazu gehören neben dem Dateinamen und dem Speicherort die Ober- und Unterkante und die Ebene, die die Schnittfläche definiert. Durch die Ober- und Unterkante wird zum einen der Abstand von der Ebene festgelegt und zum anderen gibt die Differenz zwischen Ober- und Unterkante die Stärke des Schnittes an. Bei einem parallelen Schnitt zur xy-Ebene gibt die Höhe den senkrechten Abstand dazu an.

6.1.4 Analyse und Probleme

Es hat sich gezeigt, dass bei der Auswahl der Passpunkte im Gebäude sehr auf die Geometrie zu achten ist. Idealerweise befinden sich in allen vier Richtungen Referenzpunkte. Gerade in langen schmalen Fluren ist der Anwender aber eingeschränkt. Ebenso verhält es sich in Treppenhäusern, wenn sie sehr schmal sind.
Für die Stationierung bietet FARO Scene die Möglichkeit Ebenen und Wände als Referenzen zu benutzen; doch stellt sich die Frage ob dies zu einem vernünftigen Ergebnis führt, wenn starke Verformungen vorherrschen.

Hochauflösende Scans

Ein Problem für die Software stellen hochauflösende Scans dar. Die Scans mit einer halben Auflösung können nur auf wirklich leistungsstarken Rechnern mit allen Scanpunkten geöffnet werden. Manchmal kann ein solcher Scan aber auch nur reduziert geladen werden, d.h. mit einer beschränkten Anzahl von Scanpunkten. Dadurch fehlen aber vielleicht gerade auf den Referenzpunkten Scanpunkte, so dass diese gar nicht erst erkannt werden und somit nicht für die Stationierung benutzt werden können.
Ein weiteres Problem ist, dass das Öffnen eines solchen Scans fast den gesamten Arbeitsspeicher verschlingt, der für das Programm zur Verfügung steht. Gerade beim Einfärben der Fassaden kam des Öfteren die Meldung: „Nicht genügend Arbeitsspeicher vorhanden!“. Die Ursache dafür liegt in der 32-bit Programmversion begründet.

Auch die räumliche Ansicht ist durch das Arbeitsspeicherproblem betroffen. So können in dieser Ansicht nicht mehr als 210 Millionen Punkte dargestellt werden. Dies bedeutete, dass bei einer Anzahl von 70 Scans für jeden nur 3 Millionen Punkte zur Verfügung stehen. Im Optionsmenü musste also dieser Grenzwert von 3 Millionen eingestellt

werden. Danach können alle Scans geladen und anschließend in der räumlichen Ansicht dargestellt werden. Dies funktioniert zwar gut, ist aber zeitaufwendig, wenn der Anwender nur schnell die Stationierung kontrollieren will.

Export

Auch hier muss auf die Dateigröße geachtet werden, um in AutoCad noch vernünftig arbeiten zu können.
Mängel der Funktion sind, dass der Export von Schnitten trotz Verwechselung von Ober- und Unterkante gestartet und eine Datei mit 0 kB erstellt wird.
Dies passiert z.B., wenn mit dem lokalen Koordinatensystem des Scanners gearbeitet wird, das negative Koordinatenangaben besitzt. Solange die Ober- und Unterkante falsch definiert sind, werden überhaupt keine Scanpunkte in diesem Format exportiert. Da keine Warnung erscheint muss der Anwender selber nach der Ursache forschen und nochmal alle Einstellungen überprüfen.

6.2 Die Bearbeitung in LupoScan

Die Software wendet sich besonders an Benutzer, die mit Laserscandaten an Projekten in der Architektur oder Denkmalpflege arbeiten. Das Programm konzentriert sich dabei auf Funktionen, die für diese Anwendungsgebiete wichtig sind und bleibt somit übersichtlich. Für den Bereich der Architektur sind das z.B. die Funkionen Schnitte, Orthofoto und Deformationsanalyse.

Die Scandaten wurden mit der Version 4 bearbeitet. Es wurden referenzierte Orthofotos der Fassaden erstellt, die in AutoCad die Grundlage für die Fassadenansichten darstellten. Außerdem wurden vertikale Schnitte, Quer- und Längsprofile des Gebäudes erstellt, die ebenfalls in AutoCad weiterverarbeitet wurden.

6.2.1 Konvertierung und Import von Scandateien

Die Scans, die mit FARO Scene bereits referenziert wurden, können in LupoScan importiert werden. Über den Importbutton öffnet sich ein Fenster, indem eine oder mehrere Scandateien ausgewählt werden können. Beim Import werden die Scandateien zunächst in das LupoScan-Format (*.lps) konvertiert, welches als horizontales und

vertikales Winkelraster aufgebaut ist. Dieses Raster hat feste Auflösungen im Horizontal- und Vertikalwinkel. Die Scandaten werden somit durch Interpolation in das Raster eingerechnet.
Danach muss entscheiden werden, welche Filter auf die zu importierenden Scans angewandt werden sollen. Werden die Filter jetzt ignoriert, stehen sie im Programm jederzeit zur Verfügung und können zu einem späteren Zeitpunkt angewandt werden. Die bereits referenzierten Scans von FARO wurden ohne Filter importiert, da bereits in FARO Scene Filter eingesetzt wurden.
Das letzte Dialogfeld listet alle Dateien auf, die importiert werden sollen und fasst die Einstellungen nochmal zusammen. Mit dem Bestätigen wird der Import gestartet und nach Beendigung werden die Dateien im Verzeichnisbaum angezeigt.
Durch die Mehrfachauswahl kann bei großen Projekten der Import auf die Nacht verschoben werden, womit keine Arbeitszeit verloren geht.

Der Import von hochauflösenden FARO Scans ist nicht direkt möglich. Ursache ist die Begrenzung des Arbeitsspeichers vom Programm. Da der FARO Scan fast den gesamten Speicher des Programms benötigt, ist der Rest für die Berechnungen nicht mehr ausreichend. Betroffen war der Import der Fassadenscans.
Als Lösung wurde vom Softwareentwickler vorgeschlagen, die betreffenden Scans zunächst über den Scan-Converter in das .ptx-Scandatenformat umzuwandeln und im Anschluss diese Datei zu importieren. Es wurde daraufhin gewiesen, dass es sich um einen sehr rechenintensiven Vorgang handelt und dementsprechend dauern wird. Mangels Alternativen wurde diese Vorgehensweise benutzt.
Zunächst wurde dies mit einem Scan so gehandhabt, um eine zeitliche Vorstellung zu erhalten. Als Ergebnis stand die Dauer von 30 Minuten für die Umwandlung in das .ptx Format und weitere 30 Minuten für den Import ins Programm. Bei insgesamt 15 Fassadenscans mit einer Auflösung von 1/2 bedeutete dies eine Importzeit von 15 Stunden für die Scandaten.

6.2.2 Schnitte

Die ungefähre Lage der Gebäudeschnitte wurde durch den Auftraggeber vorgegeben. Für die Erstellung wird die Funktion *Schnitte* des Programms verwendet. Der Vorteil von LupoScan gegenüber FARO Scene ist, das benutzerdefinierte Ebenen einfach und schnell definiert, die Scandateien individuell ausgewählt und die Einstellungen in einer Datei gespeichert werden können.
Die generellen Arbeitsschritte bei der Erzeugung bestehen aus der Bestimmung einer Schnittebene, der Auswahl der Scandaten für den Schnitt und der anschließenden Speicherung im .ptc Format.

Für die Bestimmung der Ebene wird zunächst ein entsprechender Scan in der 2D-Ansicht geöffnet. Über das interaktive Zeichnen werden drei Punkte markiert. Dabei definieren die ersten beiden Punkte die Unterkante und der dritte Punkt die Höhe der Ebene. Diese wird dann automatisch in der 3D-Ansicht angezeigt.
Über den Objektdialog, der alle Objekte der 3D-Ansicht auflistet, wird die Ebene gewählt. Dort sind alle Parameter der Ebene zu sehen. Um die Ebene Vertikal auszurichten muss der Winkel Omega auf 90° geändert werden. Außerdem hat der Anwender die Höhe und Breite der Ebene zu bestimmen. Die Lage der Schnittebene kann überprüft werden, indem der Scan in der 3D-Ansicht mit dargestellt wird.

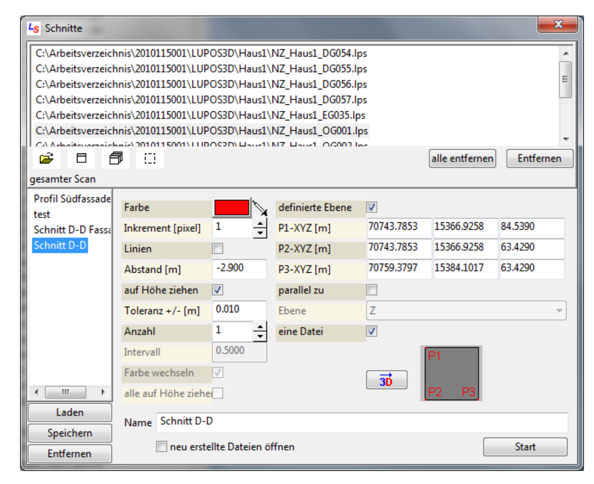


Abb. 6.9: Dialogfeld Schnitte in LupoScan

- ***Inkrement:*** es wird für die Berechnung nur jeder x-te Pixel verwendet
- ***Linien:*** die Punkte werden gleich mit Linien verbunden
- ***Abstand:*** Abstand von der Ebene

- ***auf Höhe ziehen:*** die Punkte werden in die Schnittebene projiziert
- ***Toleranz:*** wie weit ober- und unterhalb Punkte untersucht werden
- ***Anzahl:*** Anzahl der zusätzlich zu erzeugenden Schnitte
- ***Intervall:*** Abstand zwischen den einzelnen Schnitten

Die Abbildung 6.9 zeigt das Dialogfeld der Funktion *Schnitte*, worin oben die Scans aufgelistet werden, die für die Erstellung des Schnittes verwendet werden sollen. Auf der linken Seite werden die in der Jobdatei (.lpr) gespeicherten Schnitte angezeigt.
Um die soeben erstellte Ebene in das Dialogfeld einzufügen muss das Häkchen bei „definierte Ebene" gesetzt werden. Anschließend wird im Objektdialog in der 3D-Ansicht die Ebene angeklickt, die dann übernommen wird.
Nachdem für den Schnitt die Einstellungen vorgenommen worden, vergibt der Anwender einen Namen und speichert alles in die Jobdatei bevor er die Berechnung startet. Das Ergebnis wird in der 3D-Ansicht geöffnet und kann dort unter anderem im .ptc Format gespeichert werden.
Eine Übertragung direkt ins AutoCad-Programm über die Schnittstelle ist theoretisch möglich, dauert aber eventuell sehr lange.

6.2.3 Orthofotos

Ein Orthofoto ist eine verzerrungsfreie und maßstabsgetreue Abbildung und entsteht durch die senkrechte Projektion der Bildinformationen auf eine Oberfläche. Die Berechnung der Orthofotos in LupoScan erfolgt direkt aus den Intensitäten und Distanzen aus dem Laserscan.
Um das Orthofoto zu berechnen wird zunächst die Projektionsebene definiert. Die wird entweder manuell über drei Punkte eingegeben oder in der Punktewolke wird für den Bereich eine ausgleichende Ebene berechnet. Die Projektionsebene muss, wie die Schnittebene zuvor, vertikal ausgerichtet werden und wird durch auswählen im Objektdialog automatisch in das Dialogfenster (Abb. 6.10) übernommen

Es werden die Scandateien für die Berechnung ausgewählt und die Einstellungen können mit einem gewählten Namen in der Jobdatei gespeichert werden. Für die Berechnung des Orthofotos müssen die Auflösung, der Vor- und Hinterraum und das Grauwertinterpolationsverfahren eingestellt werden.

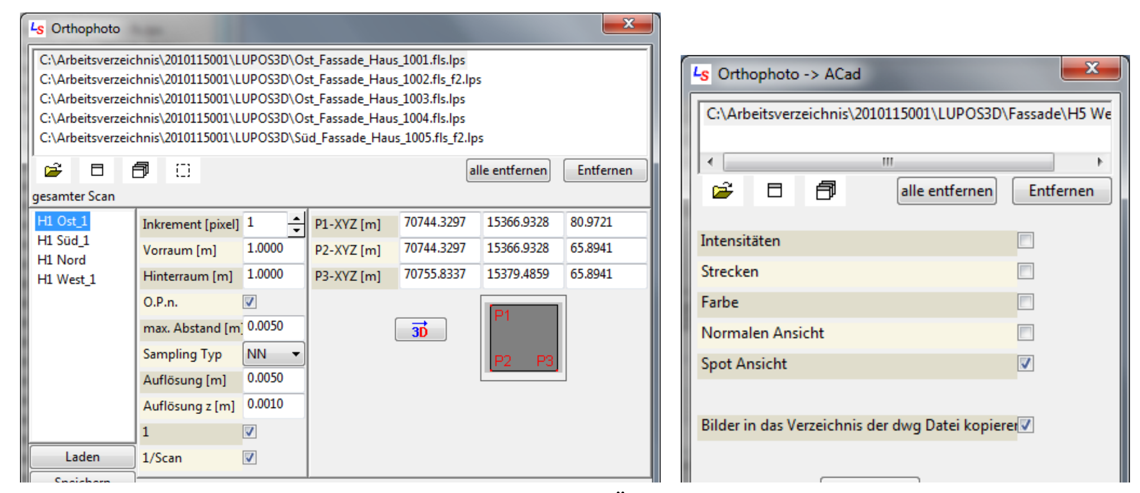


Abb. 6.10: Links: Dialogfeld Orthofoto; Rechts: Übertragung des Orthofoto nach AutoCad

Dabei definiert der Vorraum den Bereich der Bildinformationen vor der Projektionsebene und der Hinterraum den Bereich hinter der Ebene. Für die Grauwertinterpolation ist zwischen den Verfahren „Nächster Nachbar“ und Bilineare Interpolation zu wählen.

Zuerst wurde die reich verzierte Südwestfassade bearbeitet. Ein zufriedenstellendes Ergebnis konnte zunächst nicht erzielt werden. Bei den ersten Versuchen wurden alle sechs Fassadenscans voll benutzt. Sämtliche Fassadenscans mussten also „bereinigt“ werden. Dazu wurde zunächst mit den Filtern *isolierte Punkte* und *Auftreffwinkel* ein Teil der Scanpunkte entfernt. Der Rest musste manuell nachbearbeitet und bereinigt werden. Aufgrund der freistehenden großen Treppe ist der Vorraum mit rund 5 Meter ziemlich groß. Dies bedeutete, dass der gesamte Abschnitt neben der Treppe aus den Scans entfernt werden musste, da sich in diesem Bereich unter anderem Verkehrsschilder befanden.

In der 3D-Ansicht können markierte Scanpunkte komplett gelöscht werden. Voraussetzung dafür ist, dass der Scan mit allen Scanpunkten in der 3D Ansicht geöffnet wird. Für die hochauflösenden Scans können nur Teilbereiche in der 3D Ansicht dargestellt werden. Der Anwender arbeitet den Scan schrittweise ab, um alle störenden Scanpunkte zu entfernen. Letztendlich wird von jedem Scan nur der Bereich verwendet, der mit einem großen Auftreffwinkel erfasst wurde.

Für die Erstellung von 2D-Zeichnungen der Fassaden werden die Orthofotos über die AutoCad-Schnittstelle übertragen (Abb. 6.10). In AutoCad wird damit eine externe Referenz in Form eines maßstabsgetreuen Bildes im .tif Format eingefügt. Das Endergeb-

nis ist in Abbildung 6.11 und ein Ausschnitt in Abbildung 6.12 zu sehen. Deutlich zu erkennen sind die Konturen der Kanten und der Fensteröffnungen und selbst Details der Putzquaderung heben sich deutlich hervor. Das Orthofoto bildet somit für die Erstellung einer Fassadenansicht einen idealen Bildhintergrund, von dem hochgezeichnet werden kann.

Um die entstandenen Abschattungen im oberen Bereich zu beseitigen muss der Scanner auf die entsprechende Höhe gebracht werden. In der Praxis kann dies durch eine Hebe- oder Hubbühne realisiert werden.



Abb. 6.11: Orthofoto der Südwestfassade aus Laserscandaten

Für die Bearbeitung und Erstellung der Orthofotos wurden am Ende pro Fassade zwei bis drei Arbeitstage benötigt.

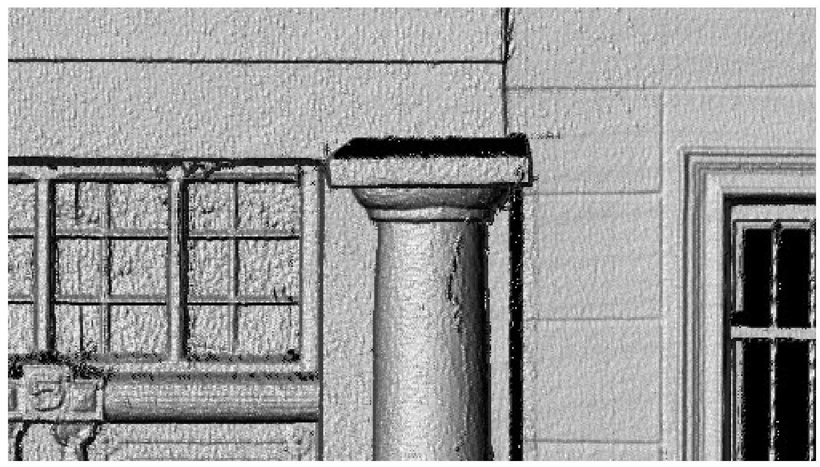


Abb. 6.12: Ausschnitt aus dem Orthofoto der Südwestfassade

6.3 AutoCad 2010 mit PointCloud

Um mit PointCloud arbeiten zu können werden AutoCad-Kenntnisse vorausgesetzt, da PointCloud keine eigenständige Softwarelösung ist. AutoCad dient der Erstellung von 2D-Zeichnungen aller Art und der Konstruktion von 3D-Modellen. Es gehört zur Produktpalette des amerikanischen Softwareentwicklers Autodesk, der jährlich eine neue Version mit Verbesserungen und Erweiterungen veröffentlicht. Im Rahmen dieser Arbeit wurde mit der im Frühjahr 2009 erschienenen 64-bit Version AutoCad 2010 gearbeitet. Als Aufsatzprogamm ermöglicht PointCloud dem Anwender die Bearbeitung von Punktwolken in einem ihm vertrauten CAD-Zeichenprogramm.

6.3.1 Grundrisse, Schnitte und Fassadenansichten

Sowohl FARO Scene als auch LupoScan unterstützen das PointCloud Format (.ptc). Dateien, die in diesen Programmen erstellt wurden, können somit über PointCloud rasch eingefügt werden. Während das Punktwolkenobjekt in die Zeichnung importiert wird ist AutoCad blockiert und steht nicht zum zeichnen zu Verfügung. Kubits PointCloud unterstützt den Punktfang in AutoCad, wodurch der Anwender jeden Punkt anfahren kann und somit direkt in der Punktwolke zeichnet.

Bei den Abbildungen 5.2 bis 5.4 handelt es sich um Schnitte, die parallel zur xy-Ebene erstellt wurden und die Basis für die Erstellung der Grundrisse sind. Die horizontalen Schnitte mit einer Stärke von 10 cm wurden in FARO Scene erstellt. Sie liegen in einer Höhe von ungefähr 1,4 Metern über dem Fußboden um alle lichten Öffnungen zu erfassen.

Das importierte Punktwolkenobjekt (Abb. 6.13) wird mit den Farbinformationen angezeigt. Über den *Bereichsmanager* wird die aktive Punktwolke verwaltet. So lässt sich die Farbe der Punkte ändern und zuvor erstellte Punktwolkenbereiche können gespeichert oder geladen werden.

Die in PointCloud enthaltene Funktion *ausgleichende Polylinie* wurde zunächst benutzt. Dazu muss im Punktwolkenobjekt eine Schicht definiert werden. Nach Aufruf des Befehls müssen die Parallelebene (xy, xz, zy) und die Stärke der Schicht bestimmt werden.

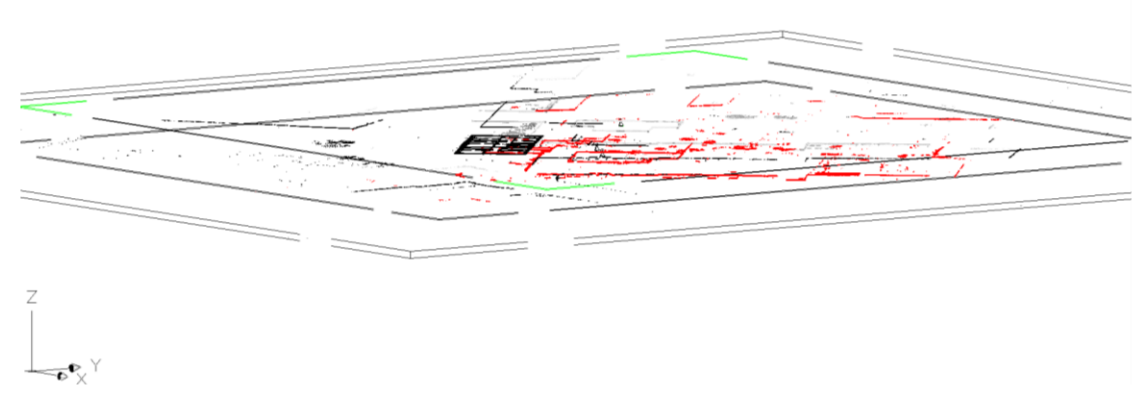


Abb. 6.13: Drei Punktwolkenobjekte in AutoCad

Damit die erzeugten Linien sich auch in der Mitte der Schicht befinden, wird ein neues Benutzerkoordinatensystem (BKS) erstellt. Damit dies nicht manuell über die AutoCad-Befehle läuft, gibt es in PointCloud die Funktion *BKS von Schicht*. Es empfiehlt sich dieses BKS abzuspeichern, um einen Wechsel zwischen den Koordinatensystemen zu ermöglichen ohne die Definition des BKS zu verlieren.
Mit dem Befehl ***ausgleichende Polylinie*** wird dann in einem Bereich der Punktwolke eine Linie bestmöglich an die Punkte angeglichen. Durch die Angleichung von aufeinander folgenden Linien wird ein Linienzug erstellt. Dabei reicht es schon aus in die Nähe der Punkte zu klicken wodurch eine zügige Arbeitsweise möglich ist. Außerdem werden die Linien automatisch verschnitten, so dass Grundrisse auf eine einfache Weise erstellt werden.

Aufgrund der Verformungen des Gebäudes war es notwendig, die Bereiche für die ausgleichende Polylinie kleiner zu wählen. Auf den ersten Blick scheint es sich um einen Linienzug zu handeln, doch erwies sich dies in den meisten Fällen nicht so. Die Abstände an den Linienenden waren so klein, dass sie teilweise im Zehntelmillimeterbereich lagen. Ein Ignorieren dieses Problems hat zur Folge, dass andere Funktionen, wie das Schraffieren von Flächen, nicht ohne Fehlermeldungen möglich sind.
Als Alternative können die Linien ohne die Funktion gezeichnet werden, in dem das Punktwolkenobjekt als Bild betrachtet wird und die Konturen digitalisiert werden. Für das Gebäude lassen sich so schnell Grundrisse darstellen, die dem Auftraggeber in digitaler Form als Planung dienen können.

Im Grundsatz gilt das Gleiche für die Erstellung von Profilen. Im Unterschied zu den Grundrissen gestaltet sich die Definierung des BKS schwieriger. Da das Gebäude nicht an den Koordinatenachsen ausgerichtet ist, handelt es sich um eine unbekannte Schnittebene. Mit FARO Scene und PointCloud konnte keine zufriedenstellende Lösung gefunden werden, die sicherstellte, dass das BKS für die Zeichenebene richtig definiert wird. Die Lösung bietet hier LupoScan, wie zuvor schon dargelegt.

Die Schnittebenen werden in LupoScan mit abgespeichert und durch die Schnittstelle der Programme ist das Einfügen dieser Ebene jederzeit möglich. In AutoCad wird dabei ein Viereck eingefügt, welches die Position der Ebene bestimmt und für die Definition des neuen BKS benutzt wird. Nach der Festlegung der Zeichenebene wird dann wie bei den Grundrissen das Profil nachgezeichnet.
Für die Darstellung der lichten Öffnungen und Wände im Hinterraum kann das Orthofoto benutzt werden, da Bilder in AutoCad als externe Referenzen eingefügt werden können.
Für die Erstellung einer Fassadenansicht werden zunächst das in LupoScan erstellte Orthofoto und die Projektionsebene von dort nach AutoCad übertragen. Für die Festlegung des BKS wird die Projektionsebene verwendet. Danach kann mit der Zeichnung der Fassade begonnen werden.

6.4 Beurteilung der Softwarelösungen

Das Laserscanning findet in einem sehr breiten Spektrum seine Anwendung, so dass sich daraus auch die verschiedensten Auswertemöglichkeiten ergeben. Da von einer Software aber nicht erwartet werden kann alle Anforderungen der verschiedenen Bereiche abzudecken, muss für das Betätigungsfeld die passende Softwarelösung gefunden werden. Mit den Lösungen, die auf dem Markt sind fällt die Wahl dabei nicht leicht.
Eine Softwarelösung soll heute leicht bedienbar sein und trotzdem die gestellten Aufgaben schnell erledigen. Mit FARO Scene erhält der Kunde eine Software, die für das Auswerten der Scandaten mitgeliefert wird. Bei der Arbeit mit diesem Programm konnte festgestellt werden, dass es für die Verknüpfung der Scans eine Vielzahl an Möglichkeiten bietet. So sind neben den üblichen schwarz/weiß Zielzeichen und Kugeln auch die Wände oder Ebenen einsetzbar. Für die Erstellung von Grundrissen kann die

Software eingesetzt werden, wobei einem keine Möglichkeiten gegeben werden eigene Ebenen zu erstellen. Dies ist aber in Hinsicht auf die Erstellung von Gebäudeprofilen notwendig, weil die Gebäude in den seltensten Fällen an den Koordinatenachsen ausgerichtet sind. Es bleibt zu hoffen, dass die neue Version 4.7 wirklich innovativer und in manchen Funktionen bedienungsfreundlicher geworden ist.

LupoScan hat sich auf wenige Bereiche spezialisiert, aber auf die intensiv. Dies konnte bei den benutzten Funktionen festgestellt werden. Interessant und vor allem aussagekräftig ist die Deformationsanalyse, die allerdings nur ausprobiert wurde.
Das gescannte Gebäude hatte neben den stark durchhängenden Decken auch einen Südostgiebel, der schon mit bloßem Auge eine Beule erkennen ließ. Um die Deformationsanalyse zu testen, wurde dieser Giebel gewählt. Dabei gibt es zwei Analysemöglichkeiten. Das erste Verfahren benutzt die Projektionsebene des Orthofoto als Soll-Ist Vergleich und das zweite Verfahren vergleicht zwei Orthofotos, die zu verschiedenen Zeiten erstellt wurden. Das Ergebnis der Deformationsanalyse ist in der folgenden Abbildung 6.14 dargestellt. Dabei passt sich der grüne Bereich des Giebels am besten an die Projektionsebene an, der rote Bereich befindet sich vor der Ebene und der blaue Bereich liegt dahinter. Anhand der Legende (Abb. 6.15) wird die Verformung des Giebels bestätigt und die Zahl gibt dabei an, wie viele Scanpunkte in den betreffenden Abstandsbereichen liegen.

Eine weitere Möglichkeit ist natürlich das Erstellen von 3D Modellen. Dazu bietet LupoScan mit seiner AutoCad Schnittstelle eine einfache und effiziente Lösung. Während in FARO Scene nur 2D oder 3D Koordinaten mit einer Linienverbindung übertragen werden, ist LupoScan dort schon weiter. Neben den Orthofotos können hier auch die in der 3D-Ansicht erstellten Objekte übertragen werden sowie Objekte aus AutoCad geholt werden. Über die *Interaktive Zeichenfunktion* können z.B. Höhenpunkte, Linien, Polylinien, Dreiecke, Vierecke erzeugt werden und anschließend nach AutoCad übertragen werden.
Abschließend ist zu sagen, dass LupoScan ein einfaches und bedienungsfreundliches Programm ist, mit dem sehr gut im Bereich der Architektur gearbeitet werden kann.

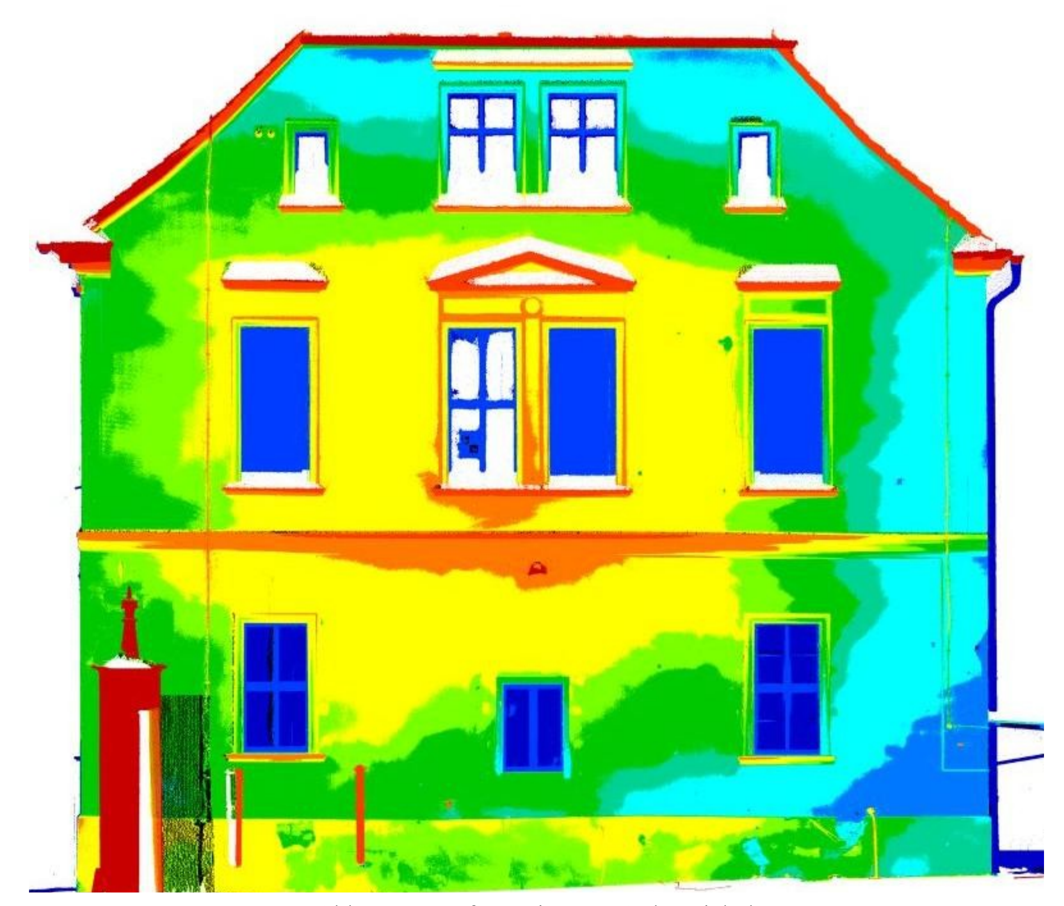


Abb. 6.14: Deformation am Südostgiebel

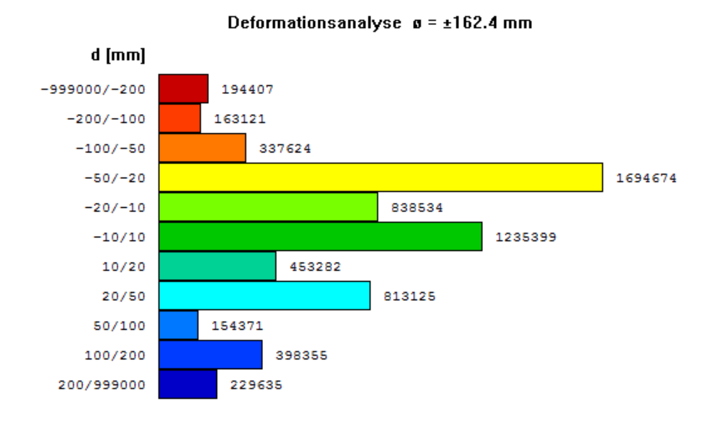


Abb. 6.15: Ergebnis der Deformationsanalyse

7 Fazit und Ausblick

Ziel der vorliegenden Diplomarbeit war die Bestandserfassung mittels Laserscanning und die anschließende Auswertung eines denkmalgeschützten Gebäudes für ein Architekturbüro. Dabei hat sich gezeigt, dass Auftraggeber im Moment teilweise noch gar nicht wissen und verstehen, was mit einem Scanner gemessen werden kann. Sie halten daher an ihren althergebrachten Verfahren fest und sehen so nicht die Möglichkeiten, die ihnen mit dem Laserscanning gegeben werden.

Festzuhalten bleibt aber trotzdem, dass sich das terrestrische Laserscanning in den letzten Jahren stark weiterentwickelt und auf dem Markt etabliert hat. Das Potenzial dieses Verfahrens wird von zukünftigen Auftraggebern immer mehr erkannt und verstanden. Gezeigt hat sich auch, dass das terrestrische Laserscanning die anderen Verfahren auf keinen Fall ersetzen wird. Vielmehr wird die Aufgabe darin bestehen, eine gesunde Mischung der Verfahren für eine wirtschaftliche Arbeitsweise zu finden.

Die Bearbeitung dieses Projektes in der Architekturdenkmalpflege hat außerdem Stärken und Schwächen des terrestrischen Laserscannings für diesen speziellen Einsatz aufgezeigt. So gehören sicherlich die Schnelligkeit bei der Datenaufnahme, die erreichbare hohe Informationsdichte und die vielfältigen Auswertemöglichkeiten zu den Stärken. Dagegen erweisen sich zum heutigen Zeitpunkt die enormen Datenmengen, die beim hochauflösenden Laserscanning entstehen, als die größte Schwäche, denn es stellen sich Herausforderungen, für die es Lösungen zu finden gilt.
Zum einen ist es die Archivierung, Datensicherung und Datenaufbereitung für die Auftraggeber und zum anderen die Bearbeitung von großen Scandateien. Effektives Arbeiten unter wirtschaftlichen Aspekten ist nur in Verbindung mit leistungsfähiger Computertechnik und Software möglich, denn ohne diese verlängert sich die Bearbeitungszeit um ein Vielfaches. Erinnert sei hier an den Import von mehreren hochauflösenden Scans in ein 32-bit Programm, der einen vollen Arbeitstag dauerte.
Es stellt sich daher die Frage, wie schnell die Softwareentwickler es schaffen, den Vorsprung, den die Messtechnik momentan hat, aufzuholen. Denn was nützen die ganzen Daten, wenn damit nicht effizient gearbeitet werden kann.

Aber in diesem Bereich bewegt sich etwas, denn nachdem FARO bereits für März 2010 seine neue Version FARO Scene 4.7 als 64-bit Programm ankündigte, erfolgte mit Verzögerung Anfang August endlich die Veröffentlichung. Damit ist ein Schritt in die richtige Richtung getan, um die Bearbeitungszeit zu reduzieren. Andere Softwareentwickler werden folgen, weil sie bemüht sind ihre Kunden zufrieden zu stellen. So gibt es bei LupoScan bereits eine 64-bit Betaversion und die Veröffentlichung ist für Ende des Jahres geplant.

Abschließend kann gesagt werden, dass eines der wichtigsten Ziele für die Zukunft mit Sicherheit die Reduzierung des Verhältnisses zwischen Messaufwand und Auswertungszeit ist. Während die Messung von Großprojekten innerhalb von wenigen Tagen erfolgt, kann die Bearbeitung mehrere Wochen in Anspruch nehmen.

Literaturverzeichnis

[1] Beleites, Johannes. *MfS-Handbuch, Teil III/9. Abteilung XIV: Haftvollzug*. Berlin. (2004) (PDF)

[2] FARO Technologies Inc. *FARO Laser Scanner Photon 120 Benutzerhandbuch*. 2009 (PDF)

[3] FARO Technologies Inc. *FARO Scene 4.6 Manuel*. 2009 (PDF)

[4] Joeckel Rainer, Stober Manfred, Huep Wolfgang. *Elektronische Entfernungs- und Richtungsmessung und ihre Integration in aktuelle Positionierungsverfahren*. 5. Auflage. Heidelberg: Wichmann 2008 – ISBN 978-3-87907-443-3

[5] Kahmen Heribert. *Angewandte Geodäsie Vermessungskunde*. 20. Auflage. Berlin: de Gruyter 2006 – ISBN 3-11-018464-8

[6] Kubit. *PointCloud5 Millionen von Punkten in AutoCAD Handbuch*. Dresden 2009

[7] Lupos3D. *LupoScan Benutzerhandbuch*. Programmhilfe. Berlin (2010)

[8] Möser, Müller, Schlemmer, Werner. *Handbuch Ingenieurgeodäsie*. 3. Auflage. Heidelberg: Wichmann 2000 – ISBN 3-87907-293-0

[9] Stadtarchiv Neustrelitz. *Häuserkartei Neustrelitz. Auszug*. Markt 1 17235 Neustrelitz

[10] Struve, Bert. *Laser Grundlagen, Komponenten, Technik*. Berlin: Verlag Technik, 2001. – ISBN 3-341-01259-1

[11] Witte Bertold, Schmidt Hubert. *Vermessungskunde und Grundlagen der Statistik für das Bauwesen*. 6. Auflage. Heidelberg: Wichmann 2006 – ISBN 3-87907-435-6

Internetadressen

[12] http://de.wikipedia.org/ (08.2010)

[13] http://maps.google.de/

[14] http://service.mvnet.de/statmv/daten_stam_berichte/e-bibointerth01/bevoelkerung--haushalte--familien--flaeche/a-i__/a123__/2009/daten/a123-2009-22.pdf

[15] http://www.faro.com/usa.aspx (08.2010)

[16] http://www.faro.com/germany.aspx (08.2010)

[17] http://www.intergeo.de/archiv/2004/Ingensand.pdf (08.2010)

[18] http://www.kubitusa.com (08.2010)

[19] http://www.lupos3d.de (08.2010)

[20] http://www.neustrelitzer-strassenhistorie.de/index.php?menuindex=2 (08.2010)

[21] http://www.neustrelitz.de/stadtgeschichte-3-4-243-379-383.html

[22] http://www.wikiweise.de

Danksagung

Zum Schluss möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mich auf diesem Weg begleitet und vor allem unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt ÖbVI Dipl.-Ing. (FH) Rainer Lessner, der mir dieses Thema erst ermöglicht hat. Bedanken möchte ich mich außerdem für die Bereitstellung der Technik und der stets freundlichen und fachlichen Unterstützung.

Selbstständigkeitserklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die Diplomarbeit mit dem Titel *„Bestandserfassung eines denkmalgeschützten Gebäudekomplexes unter Verwendung des terrestrischen Laserscanners FARO Photon 120 und der dazugehörigen Software"* selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und alle den benutzten Quellen wörtlich oder sinngemäß entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Diese Diplomarbeit wurde bisher weder einer anderen Prüfungsbehörde, in gleicher oder ähnlicher Form, vorgelegt noch veröffentlicht.

Neubrandenburg, den 3. September 2010

……………………………

Anne Kolbe

Anhang

A Bestandspläne

- Grundriss des Obergeschosses
- Fassadenansicht

B Datenträger

- Bedienungsanleitung FARO Laser Scanner Photon 20/120 (PDF)
- Bestandspläne im DXF Format
- LupoScan Viewer 4.0.2
- Scandaten ehemalige Polizeiinspektion für LupoScan Viewer
- Ergebnisse aus den Scandaten im LupoScan Format
- In LupoScan erstellte Orthofotos (.tiff Format)